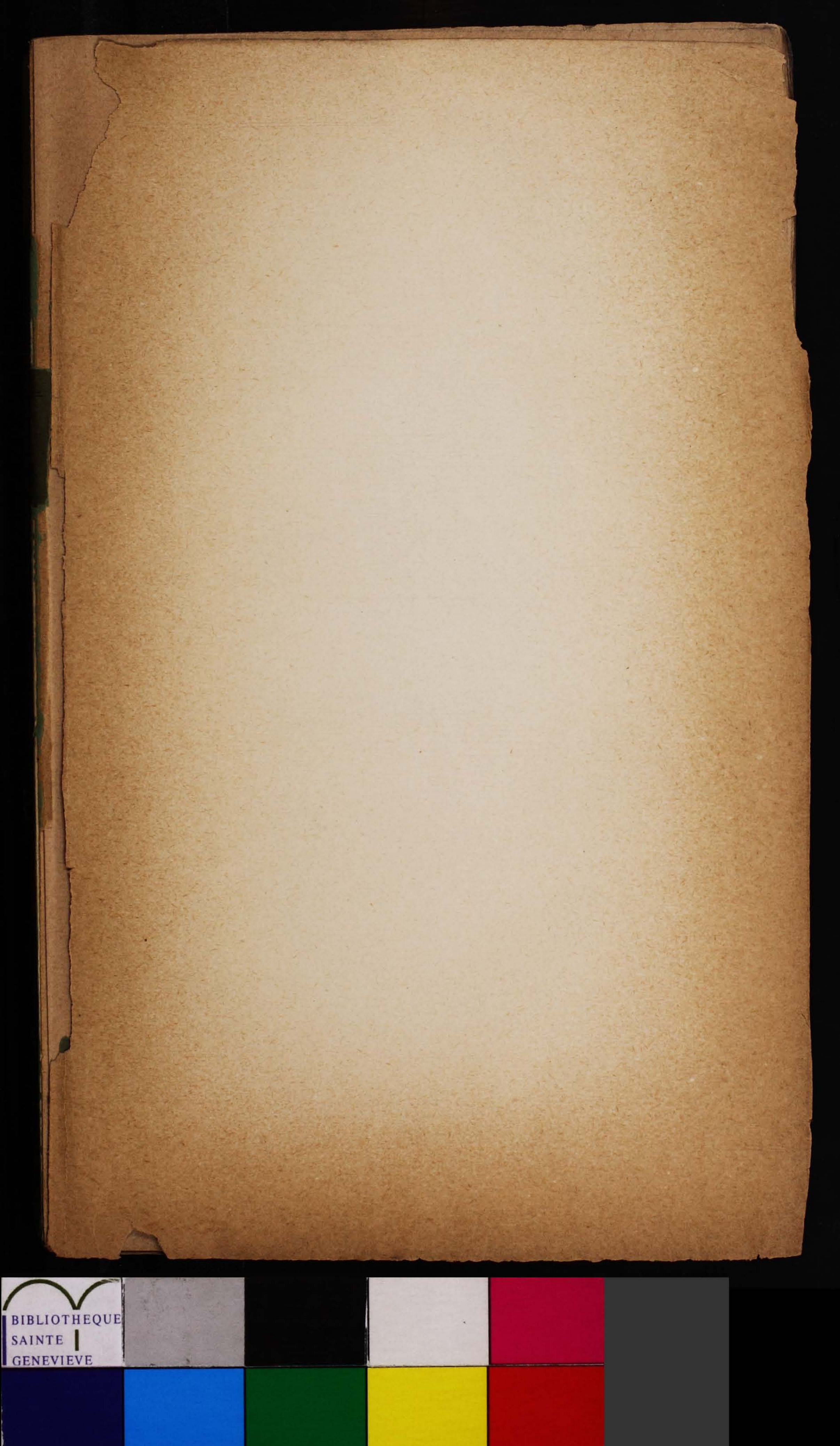

BIBLIOTHEQUE
SAINTE
GENEVIEVE

AGRONOMIE,

CHIMIE AGRICOLE

ET

PHYSIOLOGIE.

PARIS. — IMPRIMERIE DE GAUTHIER-VILLARS,
Quai des Augustins, 55.



AGRONOMIE,

CHIMIE AGRICOLE

ET

PHYSIOLOGIE,

Par M. BOUSSINGAULT,
Membre de l'Institut.

DEUXIÈME ÉDITION, REVUE ET CONSIDÉRABLEMENT AUGMENTÉE.

TOME SIXIÈME.



PARIS,
GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE
DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE
SUCCESSEUR DE MALLET-BACHELIER,
Quai des Augustins, 55.

1878

AGRONOMIE,
CHIMIE AGRICOLE
ET
PHYSIOLOGIE.

SUR LES EAUX ACIDES
QUI PRENNENT NAISSANCE
DANS LES VOLCANS DES CORDILLÈRES.

Première Partie.

En étudiant, il y a bien des années, les volcans des Andes équatoriales, je reconnus qu'ils émettent de la vapeur d'eau, de l'acide sulfhydrique, dans certains cas du gaz acide sulfureux, et ce qui, je crois, n'avait pas encore été signalé à cette époque, des quantités considérables de gaz acide carbonique, apportant continuellement à l'atmosphère du carbone, l'un des éléments indispensables à la constitution des êtres organisés.

Ces résultats généraux ont été confirmés depuis par les voyageurs qui ont observé les bouches ignivomes, les solfatares : en Amérique, depuis la Californie jusqu'au Chili, en Europe, en Asie, constamment on a rencontré dans les cratères, dans les fumerolles, la vapeur aqueuse associée à l'acide carbonique, à l'acide sulfhydrique, à l'acide sulfureux, quelquefois, comme au Vésuve, à de l'acide chlorhydrique, à des gaz combustibles.

J'avais insisté autrefois sur ce fait, que l'eau de certains torrents, prenant naissance dans la proximité des volcans, est acidifiée par de l'acide sulfurique, par de l'acide chlorhydrique libres : aujourd'hui, je me propose de rechercher l'origine probable de ces acides.

Un cours d'eau bien remarquable par son volume et son acidité est le Pasambiò, la rivière du Vinaigre (*Rio Vinagre*), qui descend du Puracé, dans une gorge très-resserrée, jusqu'au Salto de San Antonio, où il tombe, d'une hauteur de 35 mètres, au milieu d'un hémicycle de trachyte. Après sa réunion à l'Anambiò, il entre dans le Cauca.

Le volcan de Coconuco, ou Puracé, est dans la Cordillère centrale, non loin du point où commence la ramification des Andes; son sommet, couvert de neige, atteint l'altitude de 5100 mètres. Pour y parvenir, en partant de la ville de Popayan ([1]), on passe par Coconuco, où il y a une source thermale sur laquelle je reviendrai; puis, après avoir traversé le Cauca, on arrive à la Mission indienne de Puracé ([2]). En sortant de ce village, on entre dans une forêt d'arbres rabougris, à laquelle succèdent les Pajonales, espaces couverts de Graminées, remplaçant la végétation arborescente, à l'altitude de 3500 mètres. Plus haut, on rencontre cette singulière plante à tige et à feuilles laineuses, l'*Espeletia fraylejon*. A cette station, je fus assailli par une neige mêlée de grêlons sphériques de 12 à 15 millimètres de diamètre. Le vent soufflait du sud avec violence; on marchait dans cette direction : on était suffoqué; de temps à autre il fallait regarder au nord pour respirer. La végétation cessa au-dessus des *Espeletia*. Le sol était jonché de morceaux de soufre. Des jets de vapeur sortaient de plusieurs crevasses. J'étais à l'*Azufral del*

([1]) Popayan, altitude 1809 mètres.
([2]) Puracé, mission indienne, altitude 2720 mètres.

Boqueron, à l'altitude de 4360 mètres, sur un terrain creux, sur une croûte formée d'un mélange de boue (*moya*) et de soufre. Du bord d'une des fissures on apercevait de l'eau chaude fortement agitée par un dégagement soutenu de gaz acide carbonique; cette eau n'avait aucune saveur; son odeur, légèrement hépatique, disparaissait par le refroidissement.

La principale émission de vapeur avait lieu par une ouverture circulaire de 35 centimètres de diamètre, le jet produisait un bruit des plus intenses; sa température était de 86°,5 : c'est le point d'ébullition de l'eau à la hauteur à laquelle nous étions parvenus. La tension de la vapeur à 86°,5 est de $458^{mm},7$ de mercure; or, à l'Azufral del Boqueron, la colonne de mercure, dans le baromètre, se soutenait à $459^{mm},7$, la température étant de 13 degrés.

Le sol éprouvait une trépidation incessante; à 5 mètres du jet de vapeur, un thermomètre marquait 49 degrés. La vapeur avait l'odeur de l'acide sulfhydrique; en la condensant à la superficie d'un vase plein de neige, on s'assura qu'elle ne renfermait pas d'acide chlorhydrique. Le gaz recueilli dans une fumerolle consistait en acide carbonique mêlé à une trace d'acide sulfhydrique.

Au-dessus du Boqueron, à la limite inférieure de la neige, le baromètre indiqua l'altitude de 4670 mètres. La pente du Nevado étant peu inclinée, on pouvait espérer de parvenir au sommet du Puracé; mais, à peine sorti de la solfatare, le vent souffla avec tant d'impétuosité que deux fois je fus renversé. Parvenu à environ 200 mètres au-dessous du point culminant, c'est-à-dire à 4900 mètres, la surface de la neige devint tellement dure et glissante qu'il fut impossible de faire un pas en avant.

Les Indiens qui m'accompagnaient assuraient qu'à l'est du Boqueron il sort du rocher une source très-abondante, fortement acide, et que, près de cette source, désignée sous le nom de *Grand Vinaigre*, coulent deux ruisseaux acides,

les *Petits Vinaigres,* qui entrent dans le torrent de San Francisco, l'un des affluents du Pasambiò. Je me dirigeai vers les sources chaudes. Dans ces parages, le trachyte est en masses escarpées, ayant l'apparence de châteaux forts. On suivit une rampe si étroite qu'il était difficile de s'y tenir debout. Après avoir monté pendant une heure, on arriva sur une éminence d'où l'on voyait d'abondantes vapeurs; mais l'espace qu'il restait à franchir fut jugé impraticable, à cause du verglas dont la roche était recouverte. Un épais brouillard nous enveloppa tout à coup, et ce n'est pas sans peine que nous pûmes arriver à la Mission de Puracé.

L'Azufral del Boqueron n'offrait aucun phénomène igné : c'était une solfatare; or, dans les Cordillères, une solfatare n'est pas un volcan éteint, c'est un état de repos auquel succède, sans que rien le fasse pressentir, une prodigieuse et terrible activité. Ainsi le Puracé, si calme lorsque je le visitai, eut dans le cours de 1849 une série d'éruptions; le terrain environnant fut inondé par une boue liquide; en se consolidant, cette boue avait formé, au point d'émission, une enceinte circulaire de 100 mètres de diamètre, un véritable cratère d'épanchement. Les années suivantes, les tremblements de terre furent très-fréquents dans la province de Popayan : c'étaient les précurseurs de la catastrophe du 4 octobre 1869. A 3 heures du matin, le Puracé fit une éruption épouvantable; des pierres incandescentes, des cendres allèrent tomber à plusieurs lieues de distance; le lit de l'Anambiò, du Pasambiò, était encombré de boues sulfureuses. La Mission de Puracé fut détruite. Deux jours après, le 6 octobre, à 3 heures de l'après-midi, il y eut une seconde éruption; les projectiles atteignirent la ville de Popayan, située à plus de 16 kilomètres; des masses énormes d'une boue noire sulfureuse dévastèrent toute la contrée. Dans les Cordillères, ces émissions boueuses, *moyas,* sont fréquentes, ce qui fait

dire aux montagnards des Andes que leurs volcans lancent à la fois le feu et l'eau.

De retour à la Mission de Puracé, je procédai à l'analyse de l'eau du Rio Vinagre, puisée au bas de la cascade de San Antonio.

Cette eau était limpide; sa densité, à la température de 15 degrés, était de 1015.

Dans 1 litre, on a dosé :

	gr			gr
Acide sulfurique.....	1,1000	=	SO^3, HO	1,3475
Acide chlorhydrique..	1,2117	=	Cl	1,1784
Alumine...........	0,4028			
Chaux.............	0,1333			
Soude.............	0,1232	=	Na	
Silice..............	0,0237			
	2,9930 (1)			

En admettant que l'alumine et la chaux constituent des sulfates, le sodium de la soude du chlorure, on aurait :

	gr
Acide sulfurique libre......	0,0457
Acide chlorhydrique libre...	1,0665
Sulfate d'alumine..........	1,3427
Sulfate de chaux..........	0,2477
Chlorure de sodium.......	0,2325
Silice..................	0,0237
	2,9588 (2)

(1) De 422 centimètres cubes d'eau, on a obtenu :

	gr
Sulfate de baryte.............	1,35
Chlorure d'argent.............	2,01 = Chlore... 0gr,4973.
Alumine......................	0,17
Chaux.......................	0,10
Sulfate de soude.............	0,12
Silice........................	0,01

(2)

	gr
Oxygène de la soude transformée en chlorure...	0,0326
Hydrogène de l'acide chlorhydrique............	0,0029
	0,0355

Cette constitution est hypothétique : aussi est-il préférable de ne considérer que les quantités d'acide sans se préoccuper de la nature des sels. En réalité, les acides sulfurique et chlorhydrique sont le résultat d'une action volcanique, et il est vraisemblable que leur saturation partielle a suivi leur formation.

En 1823, M. Mariano de Rivero avait examiné l'eau du Rio Vinagre; dans 1 litre il y trouva :

Acide sulfurique	1,08 gr
Acide chlorhydrique ...	1,64

Ce sont, à très-peu près, les proportions que j'ai rencontrées; cette coïncidence est remarquable en ce qu'elle indiquerait que la constitution de l'eau du Pasambiò est peu variable.

Durant mon séjour à Puracé, j'ai trouvé que, en vingt-quatre heures, le Rio Vinagre débitait 34 785 mètres cubes d'eau [1]. En partant de cette donnée, la rivière acide entraînerait par jour :

Acide sulfurique monohydraté...	46 873 kilogrammes
Acide chlorhydrique	42 150 »

Soit par an : 17 millions de kilogrammes d'acide sulfurique,
» 15 millions de kilogrammes d'acide chlorhydrique.

Volcan de Pasto.

Pasto, en ligne directe, est à 38 lieues de Popayan, entre les Rios Juanambù et Guaytara, tributaires du Patia, qui débouche dans l'océan Pacifique [2]; le volcan

---

[1] *Annales de Chimie et de Physique*, 2e série, t. XXXVI, p. 113.

[2]

	Altitude.
Pasto........................	2510 m
Rio de Juanambù..............	1171
Rio Guaytara.................	1615

est à l'est de la ville. Dans le trajet de Popayan à Pasto, on voit des micaschistes en relation et probablement soulevés par des syénites porphyriques à gisements aurifères; le trachyte apparaît çà et là, particulièrement dans la gorge profonde du Rio Mayo; à partir de Meneses. cette roche domine. La route est d'ailleurs des plus accidentées; on descend graduellement dans la chaude et insalubre vallée de Patia pour remonter ensuite dans la Cordillère. Les points les plus élevés que l'on franchit sont : l'Arenal de Berueco et l'Alto de Aranda ([1]).

C'est au *sitio* de Genoe ([2]) que commence l'ascension au volcan de Pasto. Un torrent descend d'une grande hauteur en plusieurs cascades produisant un bruit assourdissant : l'eau contient de l'acide sulfurique et de l'acide chlorhydrique libres; son acidité est assez prononcée pour déterminer un dégagement de gaz hydrogène lorsqu'on la verse sur du zinc; quant à son volume, j'estime qu'il est trois fois aussi fort que celui du Rio Vinagre.

En quittant les chutes de Genoe, on entra dans un bois tellement épais qu'il fallut ouvrir un sentier pour le traverser. La montée fut assez rapide jusqu'aux Pajonales, où je vis, non sans étonnement, des bouquets de Fougères arborescentes. Après quatre heures de marche, on atteignit la *Pamba de las Piedras*, dite *Rumichaca* ([3]). De cette station, on découvrait le volcan; nous en étions séparés par une profonde anfractuosité de 400 mètres de largeur, que les guides hésitèrent d'abord à franchir. La

---

([1])

	Altitude.
Meneses	2508^{m}
Rio Mayo	1187
Patia	697
Alto de Berueco	2780
Alto de Aranda	3076

([2]) Genoe, altitude 2631 mètres.

([3]) Rumichaca, altitude 3706 mètres.

descente fut d'autant plus facile que, une fois lancé, il n'était plus possible de se retenir; en moins d'une demi-heure nous étions au fond de l'abîme, mais nous mîmes deux heures pour en sortir par la pente opposée. Nous nous trouvions sur des blocs de trachyte; j'y observai un conglomérat renfermant des nodules d'alunite; près de là un gisement de pierre d'alun. Après avoir passé l'obstacle qui faillit nous arrêter, nous nous élevâmes par une pente douce jusqu'aux fumerolles; nous n'étions pas dans un cratère : c'était un amas de blocs de roche de toutes dimensions entassés entre deux murs de trachyte. Ce terrain bouleversé présentait une ouverture de plusieurs centaines de mètres de longueur, d'où s'échappaient avec un sifflement formidable de nombreux jets de vapeur. Nous avions atteint l'altitude de 4085 mètres.

Dans ce chaos, le trachyte diffère sensiblement de la roche en place entre laquelle il est amoncelé; généralement son aspect est porphyrique; c'est d'abord un assemblage de cristaux de pyroxène et de feldspath vitreux dispersés dans une pâte noire poreuse; puis, sur des morceaux peu volumineux, c'est une sorte de ponce remplie de feldspath, à laquelle adhèrent du soufre et des cristaux de gypse; je trouvai même parmi ces décombres un gros bloc de gypse anhydre à structure saccharoïde. Çà et là on rencontrait de l'obsidienne noire, translucide; quelques fragments offraient cette particularité qu'ils étaient en partie tuméfiés.

Le sol, près de la grande fissure, était continuellement agité; à des intervalles assez rapprochés, on entendait un bruit souterrain, le *bramido* (rugissement des tremblements de terre.)

Un thermomètre placé dans la vapeur émise par l'évent principal monta immédiatement à 101°,6; l'instrument eût été brisé si je ne l'avais pas retiré. Cette vapeur, dont je ne pus prendre la température, était évidemment sur-

chauffée par son contact avec les roches de l'intérieur, car à cette altitude le mercure dans le baromètre se soutenait à 472 millimètres; or, sous cette pression, l'eau bout à environ 87 degrés. Sur les parois de la crevasse, l'étain entra en fusion; le plomb placé à côté de l'étain ne fondit pas. Il en résulte que la température, égale ou supérieure à 235 degrés, n'atteignait pas 334 degrés. Il n'était pas possible de recueillir les gaz mêlés à de la vapeur aussi chaude, la manœuvre de l'appareil collecteur eût été impraticable; c'est dans une fumerolle dont la température ne dépassait pas 90°,5 que je réussis à m'en procurer une quantité suffisante pour exécuter une analyse. 100 de gaz donnèrent :

Acide carbonique	78
Résidu non absorbable par la potasse	22

Le résidu non absorbable consistait en un mélange d'oxygène et d'azote, dans le rapport où ces gaz se trouvent dans l'air atmosphérique [1].

Cet air peut avoir été introduit accidentellement; il peut aussi provenir d'un appel déterminé par les courants de vapeur aqueuse traversant des fragments de roche fortement échauffés. Quoi qu'il en soit, le fait de l'air atmosphérique mélangé au gaz acide carbonique, constaté dans les volcans des Andes, s'est reproduit dans les analyses que M. Charles Sainte-Claire Deville a exécutées sur les gaz rejetés par les évents volcaniques de l'Italie méridionale. En effet, les conclusions de son important travail sont que « les fumerolles anhydres non acides entraînent un mélange d'oxygène et d'azote dans la proportion sensiblement égale à celle de l'air normal, tandis que les fumerolles qui contiennent des traces de vapeur d'eau, d'acide chlor-

---

[1] C'est à mon retour à Pasto que j'analysai le gaz résidu.

hydrique et d'acide sulfureux indiquent un défaut d'oxygène par rapport à l'azote ».

Les fumerolles du Puracé et du Pasto n'entraînent ni acide chlorhydrique ni acide sulfureux, ainsi que je m'en suis assuré. Il y a toutefois cette différence entre les observations de M. Charles Sainte-Claire Deville et les miennes, que j'ai constamment trouvé de la vapeur aqueuse dans les gaz exempts d'acide chlorhydrique et d'acide sulfureux, rejetés par les évents volcaniques des Cordillères.

Près des fumerolles du Pasto, on rencontre de notables quantités de sulfate d'alumine. Les guides n'ont pu m'indiquer où sont situées les sources thermales auxquelles les chutes de Genoe doivent leur acidité. Lors des éruptions, le volcan lance à de grandes hauteurs des cendres et des blocs de roche incandescents qui, en tombant sur le sol, forment des cavités ayant quelquefois 1 mètre de profondeur; les morceaux de trachyte que j'ai vus au fond de ces cavités étaient scorifiés à la surface.

Eau acide du cratère-lac du volcan de Tuqueres.

Le village indien de Tuqueres est à 8 lieues à l'ouest de Pasto. Entre ces deux localités le terrain a subi une forte dépression. De Yacunquer, dont la hauteur absolue est de 2792 mètres, on descend brusquement dans le Rio Guaytara, ayant une altitude de 1615 mètres et coulant dans un lit très-resserré, ouvert dans une alluvion reposant sur le porphyre. Le terrain de trachyte est, par conséquent, interrompu; on le voit reparaître de l'autre côté du Guaytara, près de Imbué. Les Andes, depuis Pasto jusqu'à Quito et au delà, présentent une suite de plateaux très-élevés, habités par de nombreuses populations, malgré l'âpreté du climat : Muechisa, Yacunquer, Sapuyas, Guachuca, Cumbal, Tulcan, Guacà, Tusà, Huesacà, Pucarà,

San Pablo, Tabacundo, sont des villages d'une certaine importance ([1]).

De Tuqueres on relève deux cimes neigeuses : un volcan éteint, le Chile; un volcan en pleine activité, le Cumbal, où, à l'altitude de 4760 mètres, je fus témoin d'un singulier spectacle : un espace circulaire de 20 mètres de diamètre, d'où sortait de la vapeur de soufre en combustion, entouré d'un cercle de glace; les flammes bleues paraissaient sortir de la neige.

Le volcan de Tuqueres est à trois heures de marche du village. Après avoir traversé une *pamba,* on monte à l'*Alto del Azufral,* d'où l'on découvre un lac présentant, par sa belle couleur verte, l'image d'une prairie. Sur la presque totalité de son contour, cette lagune est close par une roche de trachyte fort élevée, passant, sans aucune transition, du noir au blanc, au rouge.

On pénètre dans le cratère-lac par une jetée naturelle que termine un dôme de soufre, exhalant des vapeurs d'acide sulfhydrique. Du gaz recueilli à l'orifice d'une fissure fut complétement absorbé par la potasse : c'était de l'acide carbonique pur.

Dans de la vapeur émise par une fumerolle, le thermomètre se maintint à 86 degrés. L'altitude du lac est de 3906 mètres; ramenée à zéro, la colonne de mercure dans le baromètre se soutenait à $484^{mm},8$; sous cette pression l'eau bout à $87^{o},9$.

L'eau puisée dans le lac est limpide, absolument incolore sous une faible épaisseur, et la teinte verte qu'elle

---

([1])

	Altitude.		Altitude.
	m		m
Muechisa	2703	Guacà	3010
Yacunquer	2792	Tusà	2994
Sapuyas	3079	Huesacà	2783
Guachucà	3124	Pucarà	2995
Cumbal	3219	San Pablo	2772
Tulcan	3019	Tabacundo	2980

présente quand elle est en masse est occasionnée par le soufre sur lequel elle repose. En effet, l'eau possède une couleur bleue qui lui est propre, et c'est à la couleur jaune du soufre qu'elle doit sa teinte verte.

L'eau du lac Vert est acide, styptique comme l'eau du Rio Vinagre; elle contient de l'acide sulfurique, de l'acide chlorhydrique libres, et en outre du sulfate d'alumine que l'on voit sur les roches environnantes. Sa température, à la base de la coupole de soufre, était de 27 degrés; à 2 mètres de distance, 10 degrés; on estime à un demi-kilomètre la longueur du lac; la largeur, en moyenne, ne dépasse pas 150 mètres. Je n'ai pu en déterminer la profondeur : en l'évaluant à 5 mètres, le volume d'eau approcherait de 400 000 mètres cubes. On n'aperçoit aucune issue d'écoulement. L'enceinte de trachyte forme une paroi élevée, verticale, s'abaissant uniquement à l'est, du côté par lequel on entre à l'Azufral; la jetée dont j'ai parlé s'élève graduellement jusqu'à l'Alto, à 150 mètres au-dessus du niveau du lac. On conçoit que les eaux pluviales arrivent par cette pente; quant à leur sortie, elle ne semble avoir lieu que par l'évaporation, très-rapide sous la faible pression résultant de l'altitude et favorisée d'ailleurs par la température des roches. Je crois devoir signaler le lac Vert du Tuqueres comme un important gisement de soufre.

Volcans de Tolima et de Ruiz.

La Cordillère centrale des Andes, entre le quatrième et le cinquième degré de latitude nord, offre deux passages, généralement suivis pour communiquer de la vallée de la Magdalena dans la vallée du Cauca : le Quindiù, entre les villes d'Ibagué et de Cartago; l'Hervé, entre Mariquita et le district minéral de la Vega de Supia. Ces chemins, quoique très-fréquentés, particulièrement celui du Quindiù, sont

seulement praticables pour des piétons. C'est qu'à sa base la Cordillère est couverte de forêts d'un difficile accès et que, sur les hauteurs, le terrain est des plus accidentés. Ce n'est pas que les points culminants soient très-élevés : la plus grande altitude du Quindiù, le col del Aguito, est de 3390 mètres. Le paramo de Hervé ne dépasse pas 3174 mètres. Bien qu'en ligne directe la largeur de la montagne ne soit que de 12 à 14 lieues, on met de huit à dix jours pour la franchir. Les marchandises, et généralement les voyageurs, sont transportés à dos d'homme, par des Indiens, des mulâtres, faisant le pénible métier de *cargueros*.

Entre les passages du Quindiù et d'Hervé, la Cordillère centrale atteint une très-grande élévation ; ses cimes, sur plusieurs points, sont couvertes de neige pendant toute l'année : c'est le pic de Tolima, haut de 5500 mètres ; puis, plus au nord, Ruiz, dont j'ai trouvé l'altitude de 5900 mètres. Vus de loin ces nevados paraissent se confondre. C'est là une illusion provenant de ce qu'ils ne sont pas dans un même plan, et aussi parce que, à certaines époques, les intervalles qui les séparent sont couverts de neiges sporadiques.

La protubérance de la Cordillère centrale entre Ibagué et Mariquita paraît être la conséquence de l'apparition du trachyte. En fait, cette roche manque dans les stations basses, elle est remplacée par le granite, le gneiss, le micaschiste succédant au schiste argileux, au grunstein porphyrique.

A peu de distance d'Ibagué, le micaschiste présente une particularité : une mine de soufre ouverte dans une gorge étroite. Du soufre pulvérulent est déposé dans des fissures. L'exploitation a lieu à ciel ouvert, et par galeries qu'on ne prolonge pas à plus de 2 ou 3 mètres, par la raison qu'une fois engagé dans les travaux le mineur est obligé de retenir sa respiration, l'atmosphère dans laquelle il est

plongé étant du gaz acide carbonique ; en outre on y ressent une chaleur suffocante, bien que la température ne dépasse pas 20 degrés. Cette sensation, ainsi que je l'ai démontré, résulte de l'action que l'acide carbonique exerce sur la peau ([1]).

Des fumerolles froides de l'Azufral du Quindiù, il sort du gaz acide carbonique renfermant une trace d'acide sulfhydrique ; si l'on ajoute que le soufre a dû y pénétrer à l'état de vapeur, on voit que ces émanations sont identiques à celles des fumerolles chaudes des volcans. Il semble donc que, tout en apparaissant dans la roche schisteuse, le soufre et le gaz acide carbonique proviennent du Tolima, sur lequel repose le micaschiste soulevé par le trachyte, ainsi que l'on peut s'en assurer dans le torrent de San Juan, où l'on observe la superposition, ou plutôt le contact des deux roches.

Le pic de Tolima, lors de mon ascension, était considéré comme un volcan éteint. Sa dernière éruption datait du 12 mars 1595, à 1 heure du matin ; elle dévasta la province de Mariquita. Le P. Simon rapporte, dans sa *Chronique*, que les rivières Guali et Lagunilla charrièrent des boues noires et fétides. Or ces rivières ne viennent pas du Tolima, mais du paramo de Ruiz, d'où il faut conclure que l'action volcanique se manifesta aux deux extrémités de la zone neigeuse.

De la vallée de la Magdalena j'avais vu fréquemment de la fumée au-dessus du cône de Tolima, et de la vallée du Cauca j'avais aperçu, sur la pente occidentale du paramo de Ruiz, un grand espace noir faisant tache au milieu des neiges. Je résolus d'aborder les glaciers de la Cordillère centrale par le côté méridional ; un botaniste plein

---

([1]) Boussingault, *Agronomie, Chimie agricole, Physiologie*, t. IV, p. 62 ; 2e édition.

de zèle, M. Goudot, consentit à m'accompagner dans cette expédition.

Dans les Andes, pour atteindre le sommet d'une haute montagne, il n'y a qu'un moyen : remonter le cours des torrents qui en descendent. Le pic de Tolima est tout au plus à deux lieues nord-nord-ouest d'Ibagué ([1]); néanmoins, telles sont les aspérités du terrain, qu'il nous fallut cinq jours pour arriver à la limite des neiges. Le Combayma, que nous avons suivi, est un torrent des plus impétueux; plusieurs fois dans une journée, pour passer d'une rive à l'autre, nous devions abattre des arbres pour établir un pont. Nous entrâmes dans la région des Pajonales et des Espeletia après trois jours de marche; le cinquième jour nous établissions notre bivouac sur un point que l'abondance du soufre nous fit nommer *el Azufral de Juan,* à l'altitude de 4120 mètres; il fallut atteindre la limite inférieure des neiges, à 4690 mètres, pour rencontrer la roche en place. Là, dans une large crevasse à parois verticales, dont le fond était une boue consolidée mêlée à du soufre, il y avait une fumerolle dans laquelle le thermomètre se maintint à 50 degrés; il s'en échappait de l'acide carbonique mêlé d'acide sulfhydrique, exactement le gaz des fissures du micaschiste du Quindiù.

Pendant le temps que je passai au pic du Tolima, la température, au lever du soleil, fut de 1 à 2 degrés au-dessous de zéro. Chaque matin on voyait rouler des blocs de roche détachés du pic; cet avalanche, dont j'ignore la cause, durait, en se ralentissant, jusqu'à midi. De notre station l'on distinguait nettement les deux autres nevados : à l'ouest-nord-ouest celui de Santa-Isabela, portant trois mamelons; au nord le Ruiz, dont la longue ligne de neige est coupée vers son milieu par une zone noire ressemblant

---

([1]) Ibagué, altitude 1323 mètres.

à un cratère. Le Tolima, le Santa-Isabela, le Ruiz forment un vaste et resplendissant amphithéâtre de glace.

En remontant le Rio Guali, qui traverse la plaine de Mariquita, comme nous avions remonté le Combayma, un jeune officier des mines, M. W. Degenhardt, parvint à la base du paramo de Ruiz, à l'altitude de 3800 mètres, où il découvrit une source thermale acide extrêmement abondante et dont l'eau a, par sa composition, la plus grande analogie avec celle du Rio Vinagre du Puracé. Sa température était de 69°, 4. L'analyse en a été faite, à ma prière, par M. B. Lewy, dans le laboratoire de M. Henri Sainte-Claire Deville.

Dans 1000 parties on a dosé :

Acide sulfurique.	5,181		
Acide chlorhydrique. .	0,881 =	Chlore.	0,856
Alumine.	0,500		
Chaux.	0,140		
Soude.	0,360 =	Sodium.	0,267
Magnésie.	0,320		
Oxyde de fer FeO.	0,164		
Silice.	0,183		
	7,729		

En combinant le sodium au chlore, la chaux, la magnésie, l'oxyde de fer à l'acide sulfurique, on aurait :

Acide sulfurique libre. .	2,991 =	Acide monohydraté	3,664
Acide chlorhydrique libre	0,4565		
Sulfate d'alumine.	1,667		
Sulfate de magnésie. . . .	0,961		
Sulfate de chaux.	0,340		
Sulfate de fer.	0,346		
Chlorure de sodium. . . .	0,679		
Silice.	0,183		
	7,6235 (1)		

(1) L'oxygène et l'hydrogène éliminés pour la constitution du chlorure de sodium = 0,105.

L'eau de la source thermale du Ruiz contient, en effet, les mêmes acides libres, les mêmes sels alcalins et terreux que l'eau du *Rio Vinagre,* mais en plus fortes proportions; ainsi elles renferment cinq fois autant d'acide sulfurique. Il convient cependant de faire remarquer que l'eau thermale du Puracé, surgissant sur un point inaccessible, n'a pu être recueillie pure. Toutefois la forte réaction acide qu'elle communique au torrent de Pasambiò fait présumer que son degré d'acidité ne le cède pas à celui de la source chaude du Ruiz.

Des observations que je viens de présenter il résulte que de l'acide sulfurique, de l'acide chlorhydrique libres existent dans les thermes, dans l'eau des torrents, des lagunes, aux alentours des volcans : du Puracé, du Pasto, du Tuqueres, du Ruiz. L'acide sulfurique produit en aussi fortes quantités ne saurait être attribué à la combustion lente de l'acide sulfhydrique accomplie dans les fumerolles; l'acide n'est ainsi formé qu'en faibles proportions et presque immédiatement combiné aux bases entrant dans la constitution des roches pour constituer des sulfates, notamment du sulfate d'alumine, de l'aluminite, tandis que les acides libres, sur lesquels j'appelle en ce moment l'attention de l'Académie et qui acidifient des masses d'eau si considérables, sont engendrés dans les foyers volcaniques, par suite de réactions que je chercherai bientôt à expliquer.

Le fait de leur apparition n'est pas limité aux terrains trachytiques des Cordillères intertropicales. Dans les républiques de Guatelama, de San Salvador, les volcans de Chinameca, de San Vicente, de Santa Ana émettent des boues chaudes et fluides riches en acide sulfurique ([1]).

J'ajouterai que Vauquelin a trouvé le même acide mêlé

([1]) Dolfus et de Mont-Serrat, *Voyages géologiques dans les républiques de Guatemala et de San Salvador.* La température des boues volcaniques est de 97 à 98 degrés.

à l'acide chlorhydrique dans l'eau que Leschenaut avait puisée au sommet de l'Idgeng, l'un des volcans de Java, à l'altitude de 1950 mètres. « La profondeur du cratère est de plus de 100 mètres, et l'on voit, dit Leschenaut, vers le haut du gouffre, quatre bouches fumantes d'où sortent des flots de vapeurs acides qui se condensent et tombent dans le lac, dont les eaux deviennent tellement acides qu'elles attaquent tout ce qu'elles touchent; elles altèrent les laves en produisant des sulfates de chaux, de potasse, de fer, et de l'alun. A l'époque des pluies, le cratère-lac déborde dans la rivière Blanche, dont les eaux cessent alors d'être potables à cause de leur acidité [1]. »

Ainsi, dans l'Inde, comme dans l'Amérique méridionale, les sources chaudes sortant des volcans acidifient des torrents, des lacs : le Puracé, le Rio Pasambio; le Pasto, les chutes de Genoe; au mont Idgeny, des eaux accumulées au fond d'un cratère, puis une rivière importante. Enfin le cratère-lac du volcan de Tuqueres rappelle le cratère-lac du volcan de Java; les eaux acides, en agissant sur le trachyte, lui communiquent les teintes les plus variées, en le couvrant d'efflorescences salines.

Je décrirai maintenant des sources chaudes ayant généralement une réaction alcaline et que l'on voit aussi surgir des terrains volcaniques.

Deuxième Partie.

Thermes à eaux alcalines.

1. *Eau thermale de Coconuco* [2]. — La source chaude que j'ai observée près du village de Coconuco, à la base du volcan de Puracé, le therme de Cobalò, jaillit du sommet

(1) *Journal de Physique*, t. LXV, p. 406.
(2) Altitude de Coconuco, 2481 mètres.

d'un cône de fragments de trachyte agglomérés par une concrétion calcaire recouverte d'une pellicule brune, blanche à l'intérieur, fibreuse, translucide, offrant quelquefois l'aspect de la gomme ; çà et là elle est enduite de soufre pulvérulent.

Le trachyte de Coconuco est à pâte grise, enchâssant des cristaux effilés de pyroxène. Sa disposition en cône porte à croire qu'il a été brisé, soulevé lors de l'éruption de la source thermale. Le dégagement de gaz acide carbonique mêlé à de l'acide sulfhydrique est si abondant, si soutenu que l'on croirait l'eau en pleine ébullition. La température était de 72°,8. Vingt-quatre ans après, mon ami, le colonel Codazzi, l'a trouvée de 78°,8. Il y aurait eu, par conséquent, dans cet intervalle, une augmentation de 6 degrés. Il n'est pas établi jusqu'à présent que la température d'une source chaude soit invariable ; il y a même lieu de croire le contraire, d'après les observations faites dans la chaîne du littoral de Venezuela et que je crois devoir rappeler ici.

En 1800, Humboldt prit la température de deux sources : l'une, celle de Mariara, près Maracay ; l'autre, celle de las Trincheras, à peu de distance de Puerto Cabello, où l'on voit encore, ce qui lui a fait donner son nom, des retranchements élevés par des flibustiers français qui, au XVIIe siècle, saccagèrent la ville de Nueva Valencia. Voici la comparaison des observations de Humboldt avec les miennes :

Années.	Source de Mariara.	Source de las Trincheras.
1800	59°,2	90°,4
1823	64,0	96,9
Différences....	4,8	6,5

En mesurant la température d'une source thermale,

on est naturellement enclin à chercher l'endroit le plus chaud. Je fais cette remarque parce que, à Mariara, l'eau est captée dans plusieurs bassins pratiqués dans le granite. Le thermomètre indiqua 44, 57, 64 degrés; il peut donc rester quelque incertitude sur la température.

Pour la source de Mariara, l'incertitude est moindre, par la raison que l'eau sort du fond de deux petits bassins creusés dans le granite : dans l'un, on trouva 92°,2, dans l'autre 96°,9; elle est nulle pour la source de Cobalò, parce qu'il n'y a qu'un seul point où l'on puisse placer le thermomètre; c'est une ouverture de 35 centimètres de diamètre, d'où l'eau jaillit sans intermittence; on doit donc admettre que l'accroissement de chaleur constaté par Codazzi est bien réel.

Une source thermale peut, je crois, être assimilée à un phénomène volcanique, et quand elle sort du trachyte, au pied d'un volcan actif tel que le Puracé, l'assimilation est parfaitement justifiée. Les gaz dégagés de l'eau thermale sont d'ailleurs identiques avec les gaz émis par les fumerolles, et, si les substances salines ne se rencontrent pas dans les exhalaisons des solfatares, c'est à cause de leur fixité; mais, en raison de leur solubilité, l'eau les dissout et les entraîne ; quant à la chaleur des thermes, comme les foyers volcaniques, elle doit avoir des périodes d'intensité variable. Il est digne de remarque que l'augmentation de la température de la source de Cobalò coïncide avec un grand développement d'activité survenu dans le volcan de Puracé.

Dans 1 litre d'eau chaude de la source de Cobalò, j'ai dosé :

Sulfate de soude..........	3,89 gr	7,43 gr
Chlorure de sodium...... ..	2,75	
Bicarbonate de soude......	0,69	
Carbonate de chaux........	0,10	

Carbonate de magnésie	Indices.
Carbonate de manganèse...	
Silice..................	
Gaz acide carbonique	Quantités indéterminées.
Gaz acide sulfhydrique....	
Gaz azote	

Dans la concrétion déposée par l'eau thermale sur le trachyte, j'ai trouvé :

	gr
Carbonate de chaux......	74,2
Carbonate de manganèse..	21,0
Carbonate de magnésie....	4,0
Sulfate de soude et perte..	0,8
	100,0

Ce dépôt est une dolomie dans laquelle le carbonate de magnésie est en grande partie remplacé par le carbonate de manganèse.

2. *Eau thermale de l'Azufral du volcan de Puracé.* — On a vu que cette source est un peu au-dessous de l'*Azufral del Boqueron;* il s'en dégage un courant soutenu de gaz acide carbonique et de gaz acide sulfhydrique. L'eau, dont la température est de 50 degrés, ne renferme que des traces de matières salines.

3. *Source gazeuse du volcan de Pasto.* — Cette source très-abondante surgit du trachyte, à la base du volcan, à l'altitude de 2570 mètres; elle forme un ruisseau laissant déposer dans son parcours un calcaire exploité comme pierre à chaux; sa température est de 36 degrés.

Dans 1 litre on a dosé :

	gr
Bicarbonate de soude.......	0,88
Carbonate de chaux........	0,05
Carbonate de magnésie....	indices
Carbonate de fer..........	
	0,93

Acide carbonique, quantité indéterminée.

4. *Source thermale de Guachucal; volcan de Tuqueres.* — Température, 70 degrés. La source émet du gaz acide carbonique mêlé à du gaz acide sulfhydrique.

5. *Source de Lysco; volcan d'Antisana, sous l'Équateur.* — Température, 27°,2, celle de l'air étant de 13 degrés.

L'eau est très-chargée d'acide carbonique; elle dépose du carbonate de chaux légèrement ferrugineux, exploité comme pierre à chaux.

Ces sources acidulées, tenant en dissolution, à la faveur de l'acide carbonique, du carbonate de chaux, sont fort répandues dans les terrains ignés. Ainsi que les sources à sels alcalins, telles que l'eau thermale de Cobalò, elles ont ce caractère d'émettre du gaz acide carbonique mélangé d'acide sulfhydrique, précisément les gaz des fumerolles; souvent leurs eaux ne renferment pas de substances salines, bien différentes en cela des sources que je vais décrire avec détail, parce que les sels qui s'y trouvent, provenant non-seulement du terrain trachytique, mais des roches les plus diverses, jetteront probablement quelque jour sur les phénomènes qui se réalisent dans les foyers volcaniques, en laissant entrevoir l'origine des acides libres et des sels alcalins signalés dans certaines eaux thermales.

Troisième Partie.

Salines iodifères des Andes.

Ayant été chargé d'établir, dans le district de la vega de Supia, l'amalgamation de *patio,* pour le traitement des minerais argentifères, j'eus d'abord à me préoccuper des ressources que la contrée présentait sous le rapport de la production du sel, agent indispensable dans ce genre d'opérations.

Les distances et surtout les difficultés du transport, dues

au mauvais état des routes, ne permettaient pas de tirer le sel des riches gisements connus dans les Cordillères, et moins encore des marais salants de l'océan Pacifique. Je fus ainsi conduit à faire un examen attentif des nombreuses salines exploitées dans les provinces d'Antioquia et du Cauca. Je constatai alors ce fait, bien inattendu et en contradiction avec les idées reçues en Géologie, que le sel employé dans le pays aux usages domestiques provenait de sources salées sortant de roches cristallines : du granite, du gneiss, du micaschiste, de la syénite, du grunsteim porphyrique, et même, je l'ai reconnu plus tard, du trachyte, de la dolérite, et non pas d'argiles salifères, ou de sel gemme reposant sur des couches dépendant du terrain tertiaire, ainsi qu'il arrive à Wieliska, en Europe, et, en Amérique, pour les masses de sel réparties dans la Cordillère orientale des Andes, dont la plus importante, celle de Zipaquira, est en relation avec le calcaire néocomien ([1]).

Ces singulières salines d'Antioquia et du Cauca sont utiles, non-seulement par les produits qu'elles livrent à la consommation, mais aussi par la propriété antigoîtreuse du sel; propriété d'autant plus précieuse que, dans toute la chaîne des Andes, l'homme est généralement atteint du goître, dont la conséquence immédiate est, quoi qu'on ait dit, le crétinisme. Or, dans les localités où l'on fait usage du sel provenant des salines des roches cristallines, le goître est inconnu. Cet effet salutaire est dû à l'iode, dont, depuis longtemps, j'ai constaté la présence dans le sel d'Antioquia ([2]).

Les puits fournissant de l'eau salée iodifère sont nom-

([1]) D'après les collections de fossiles rapportées par Humboldt, Dengelhardt et moi, fossiles étudiés par de Buch et d'Orbigny.

([2]) Rapport sur les salines iodifères des Andes, adressé en 1830 au Ministre de la Guerre de la Nueva-Grenada.

breux. On en exploite plusieurs dans les environs de Medellin ; un des plus importants par sa production est celui de Guaca, ouvert dans un conglomérat supporté par la syénite. A peu de distance de Guaca, l'eau de la saline de Matasano sort d'un porphyre à pâte siliceuse parsemée de cristaux de feldspath et d'amphibole ; plus haut un puits, dit *de la Saline,* est dans un schiste amphibolique encastré dans la syénite. La saline de *Rio Grande,* sur le chemin de Medellin à Santa-Rosa-de-Osos, se trouve dans une belle variété de syénite, à l'altitude de 2620 mètres.

La ville de Rio Negro est sur un plateau de granite à mica noir ; on y exploite plusieurs salines : la principale est celle de Guarzo. C'est du même granite que sort une saline près du village de Sonson, au pied d'un paramo élevé de 3234 mètres, et sur l'arête de partage de la Cordillère centrale : c'est la continuation du paramo de Hervé, lié au nevado du volcan de Ruiz.

Le district de Supia est largement pourvu de salines : celles de Muela, de Yppe, del Peñol, del Ciruelo sont dans un conglomérat de peu d'épaisseur, assis sur la syénite porphyrique. A Mogan, l'eau salée se fait jour au pied d'un massif isolé de porphyre syénitique, *el Engurumà* ; elle a formé un dépôt calcaire d'une assez grande épaisseur.

Voici la composition de quelques-unes des eaux salées exploitées dans les environs de la vega de Supia, dans 1 litre :

	Muela.	Ciruelo.	Mogan.	Peñol.	Quinchia.	Sonson.
	gr	gr	gr	gr	gr	gr
Chlorure de sodium	4,08	11,76	6,26	7,90	8,30	3,64
Sulfate de soude	1,94	0,00	3,82	0,00	0,90	4,40
Bicarbonate de soude	0,23	0,00	0,10	0,00	0,00	0,17
Carbonates de chaux et de magnésie	0,04	0,00	0,39	0,00	0,80	0,25
Chlorure de calcium	0,00	2,21	0,00	1,82	0,00	0,00
Chlorure de magnésium	0,00	0,76	0,00	0,08	0,00	0,00
Sulfate de chaux	0,00	1,83	0,00	0,55	0,00	0,00
Iode	indice	indice	indice	indice	indice	indice
	6,29	16,56	10,57	10,38	10,00	8,44

La province de Popayan a aussi ses salines iodifères ; l'eau de la source d'Asnenga, près Pitayo, donne un sel employé avec succès contre les affections goîtreuses ; elle sort de la syénite ; dans 1 litre on a dosé :

	gr
Chlorure de sodium....................	1,42
Bicarbonate de soude...............	0,36
Sulfate de soude	0,14
Carbonate de chaux et de magnésie......	0,06
Silice...............................	0,02
Iode................................	forte trace.
	2,00

La chaude et insalubre vallée de Patia possède des salines dans la syénite et dans le grunstein porphyrique, mais l'exploitation n'en est plus avantageuse, à cause de la concurrence du sel de Mira, que l'on extrait sur la limite de la Nouvelle-Grenade et de l'État de l'Équateur. En sortant de Cumbal, on passe d'abord par Tulcan et Guacà ; après avoir gravi le paramo del Boliche ([1]), on descend à Tusà. On parcourt alors une alluvion sablonneuse, sillonnée par des torrents dont le lit est très-profond. Par exemple, au Rio Chotà, dans une région tempérée, l'altitude n'est plus que de 1620 mètres. En suivant une rampe étroite, on arrive au torrent d'Ambi, creusé dans un trachyte noir, à pâte pyroxénique, contenant du feldspath vitreux et fissuré dans tous les sens, d'où sortent des sources salées. On monte alors sans discontinuer jusqu'au village de *Salinas*, à 3 lieues au nord de la ville d'Ibarrà, dans une grande plaine de sable qui entoure le pic neigeux de Cotocachi ([2]). La zone salifère de l'alluvion trachytique est assez circonscrite ; c'est la superficie que l'on lessive pour en extraire du sel que l'on moule en

([1]) Paramo del Boliche, altitude 3500 mètres.
([2]) Altitude du Cotocachi, 5000 mètres.

pains de 1 à 2 kilogrammes, et que l'on cuit dans un foyer, afin de leur donner de la consistance pour en faciliter le transport. La terre lessivée est remise sur le sol, et l'on m'a affirmé que, après quelques mois, elle rend de nouveau du sel par la lixiviation, ce qui tendrait à faire supposer que l'eau salée vient d'en bas et qu'elle se concentre par une évaporation spontanée ; aussi n'est-il pas rare, dans la saison sèche, de voir le sol couvert d'efflorescences. On assure que du terrain salifère compris entre les villages de Salinas et de Mira, d'une étendue de 3 à 4 lieues carrées, on retire 4000 cargas de sel (1).

Au sud d'Ibarrà, sur le plateau de Quito, où sont groupés les volcans de l'Équateur, on connaît des salines iodifères sortant toutes du trachyte, et à la base du Tunguragua (2), sur le chemin qui conduit aux missions de la rivière des Amazones, près des eaux thermales de los Baños, dont la température est de 54°,4, à l'altitude de 1910 mètres, on retire d'une source froide nommée *Batoun* un sel employé en Médecine.

Dans 1 litre de l'eau de Batoun, on a trouvé :

	gr
Sulfate de soude	4,09
Chlorure de sodium	1,58
Sulfate de magnésie	1,24
Sulfate de chaux	0,97
Iode	indice
	7,88

Le versant méridional du Chimborazo est riche en sources salines iodifères ; près de Guaranda, à las Salinas, les Indiens du village de Simietung dirigent sur des prés, pour qu'elles s'y évaporent, des eaux salées suintant du trachyte. On obtient ainsi un sel d'une remarquable blancheur, ayant la faculté de préserver du goître ; on

(1) La carga de sel équivaut à 10 arrobas.
(2) Altitude de Tunguragua, 5112 mètres.

l'exporte jusqu'à la province de los Pastos. La production pourrait être très-élevée, tant l'eau salée est abondante, mais le bas prix du sel des marais salants de la côte du Pérou est un obstacle à ce que l'industrie des Indiens de Simietung prenne une grande extension.

Dans les eaux des salines iodifères, je me suis borné à doser les sels qui s'y trouvent en notables proportions : aussi, à l'exception de l'iode, dont la moindre trace est révélée par une réaction nette et facile, les substances existant en très-faibles quantités avaient dû échapper à l'analyse ; pour les déceler, il eût fallu concentrer un volume d'eau considérable, opération impraticable pour un voyageur. Fort heureusement que, dans les salines d'Antioquia, on recueille avec soin une eau mère, connue à cause de sa consistance, sous le nom d'*Aceyte de sal* (huile de sel), spécifique excellent pour la guérison du goître. Dans cette eau mère venant d'une saline des environs de Medellin, que l'on m'a envoyée récemment, je suis parvenu à doser le brome, l'iode, la potasse, l'ammoniaque, et à reconnaître par l'analyse spectrale l'existence de la lithine. Ces substances entrent, par conséquent, dans l'eau des salines iodifères des Andes.

L'eau mère, à la température de 21 degrés, avait une densité de 1,2469.

De 100 grammes j'ai obtenu :

	gr		gr
Chlore	13,6124		
Brome	0,3092		
Iode	0,0090		
Acide sulfurique . . .	3,5480		
Soude	10,5860	= Sodium . . .	7,8544
Potasse	4,0735	= Potassium .	3,3816
Chaux	0,1220		
Magnésie	1,1930	= Magnésium.	0,7160
Ammoniaque	0,0250		
Lithine	indice		
	33,4781		

100 grammes d'eau mère ont laissé : matières fixes, 30,765.

En traitant cette eau par l'acide sulfurique, on en a retiré du brome.

Le poids des matières fixes extraites par l'évaporation ne saurait être très-exact, on le conçoit ; mais la forte différence que présente la pesée directe, comparée à la somme des substances dosées, vient ici de ce que l'on a calculé à l'état d'oxyde des métaux combinés, en totalité ou en partie, au chlore, au brome, à l'iode.

En supposant que le chlore constitue du chlorure de sodium, que le brome et l'iode sont unis au magnésium, la chaux et la potasse à l'acide sulfurique, que l'ammoniaque forme du chlorhydrate, on aurait, dans 100 grammes d'eau mère :

	gr
Chlorure de sodium	19,9564
Chlorure de magnésium	1,9360
Chlorhydrate d'ammoniaque	0,0787
Bromure de magnésium	0,3556
Iodure de magnésium	0,0100
Sulfate de potasse	7,5324
Sulfate de chaux	0,2966
Sulfate de soude	0,0257
Magnésie en excès	0,3000
Lithine	indice
	30,4914 (1)

(1) Je crois devoir faire remarquer l'analogie de l'eau mère de la saline d'Antioquia avec l'eau de la mer Morte ou lac Asphaltite, dans laquelle j'ai trouvé, pour 100 :

Chlorure de sodium	6,496		
Chlorure de magnésium	10,729		
Chlorure de calcium	3,559		
Chlorure de potassium	1,611		
Bromure de magnésium	0,331	= Brome	0,286
Sulfate de chaux	0,042		
Nitrate	0,000		
Iodures	0,000		
	22,768		

Je n'y ai pas rencontré d'iode, et Gmelin, dans une analyse dont les ré-

Les salines iodifères résultent d'un lavage opéré par l'infiltration d'eaux venant de l'extérieur. Les sels solubles doivent être d'ailleurs très-inégalement répartis dans les terrains, puisque toutes les sources ne sont pas salées. C'est par un contact prolongé avec les roches qu'elle traverse que l'eau enlève les principes solubles ; en suintant peu à peu, elle remplit des cavités naturelles ou des puits creusés pour les capter. On pourra juger de la lenteur de son mouvement par un jaugeage exécuté à la saline de Guaca, près Medellin.

Le puits avait une capacité de 4460 litres, il se remplissait en sept heures ; la surface du fond et des parois était de $16^{mq},7$: par conséquent, en une heure et par mètre carré, il suintait 38 litres d'eau salée ; c'est, on le voit, un assez faible débit ; cependant la saline de Guaca passe pour une des plus productives.

Les salines que je viens de décrire sont réparties sur une grande étendue ; je les ai suivies depuis le septième degré de latitude nord jusqu'au quatrième degré de latitude australe. Toutefois il y a ce fait curieux à signaler, c'est que dans la Cordillère centrale, dans les Andes avant leur ramification, le gneiss, le granite, le micaschiste, la syénite, les porphyres sont rapprochés du trachyte et fréquemment en relation avec les terrains ignés. Au contraire, on ne connaît pas de sources salées analogues dans la chaîne littorale de Venezuela, dans la Cordillère orientale, où ces mêmes roches sont très-développées, puisqu'on les suit depuis le niveau de la mer jusqu'aux cimes neigeuses de la sierra de Merida, mais où le trachyte manque complétement.

---

sultats s'accordent avec ceux que j'ai obtenus, n'en a pas rencontré non plus.

L'eau mère d'Antioquia est notablement plus riche en brome que l'eau de la mer Morte, que déjà, cependant, on peut considérer comme une source importante de ce métalloïde.

Ainsi les roches cristallines, telles que le gneiss, le granite, etc., renferment, dans une situation bien définie, des sels alcalins qui se rencontrent également, soit dans les foyers des volcans, soit dans les roches voisines de ces foyers, comme le prouve la constitution des eaux thermales, et il y a ceci de remarquable, que les thermes persistent alors même que l'activité volcanique a disparu; de sorte que l'on est conduit à se demander si leur chaleur est due au feu des volcans ou à la température interne de la Terre. Du reste, je ne crois pas possible d'établir une distinction bien nette entre ces deux sources de chaleur, distinction qui n'est pas nécessaire pour la discussion dans laquelle je vais entrer, afin d'établir, en me fondant sur la composition et sur le débit des thermes, combien doivent être considérables les quantités de chlorures et de sulfates alcalins, ou, si l'on veut, de chlore et de soufre accumulés dans les roches.

Je commencerai par la source chaude de Cobalò, près du volcan de Puracé : on estime qu'elle débite au moins 50 mètres cubes d'eau en vingt-quatre heures; d'après l'analyse rapportée plus haut, il entre dans 1 litre :

	gr
Sulfate de soude.............	3,89
Chlorure de sodium	2,75
Bicarbonate de soude.........	0,63
	7,27

Chaque jour l'eau de Cobalò entraînerait donc 364 kilogrammes de sels de soude.

En Europe, on connaît des thermes nombreux analogues à celui de Puracé. J'en citerai quelques-uns :

Sources de Vichy. — Les sept sources principales débitent en vingt-quatre heures 259 mètres cubes.

Par litre, ces eaux contiennent :

	gr
Bicarbonate de soude	5,75
Chlorure de sodium...............	0,56
Sulfate de soude.................	0,28
	6,59

Les sels de soude amenés par jour à la surface de la Terre pèseraient 1708 kilogrammes.

Les eaux thermales de Vichy émanent très-probablement du terrain volcanique de l'Auvergne ou des roches cristallines qui l'avoisinent.

Sources de Saint-Nectaire (Puy-de-Dôme). — Ces sources jaillissent du gneiss à une température de 19 à 32 degrés.

En vingt-quatre heures, elles produisent 237 mètres cubes d'eau, contenant par litre :

	gr
Bicarbonate de soude	2,83
Chlorure de sodium	0,20
Sulfate de soude	0,16
	3,19

Ce serait, par jour, une émission de 756 kilogrammes de sels de soude.

Eaux thermales du mont Dore (température 45 degrés). — La source du puits César donne en vingt-quatre heures 56 mètres cubes, tenant par litre :

	gr
Bicarbonate de soude	0,63
Chlorure de sodium	3,29
Sulfate de soude	0,66
	4,55

Ce serait une émission, par jour, de 255 kilogrammes de sels de soude.

Les thermes, d'après les quelques faits que je viens de rappeler, apportent, de l'intérieur à la surface de la Terre, des quantités considérables de sels de soude, et si l'on réfléchit que cet apport est continu, qu'il dure depuis des siècles, on en conclura que les roches au milieu desquelles naissent les sources chaudes sont bien riches en sels alcalins préexistants ou formés par une action exercée sur les espèces minérales qui les constituent. Que les thermes

enlèvent à ces roches des sels préexistants ou constitués par une réaction, toujours est-il que l'eau en est le véhicule, et, comme elle intervient non-seulement dans les sources thermales qu'elle alimente, mais encore dans les phénomènes volcaniques, il convient d'en préciser l'origine.

L'extraordinaire et incessante abondance des sources chaudes, les énormes masses de boues liquides rejetées par les volcans font admettre sans discussion que, dans ces circonstances, l'eau vient de la surface de la Terre : c'est de l'eau provenant de la condensation de la vapeur contenue dans l'atmosphère, en un mot, de l'eau météorique. En admettant son intervention dans des actions accomplies dans l'intérieur du sol, à de grandes profondeurs, il reste à montrer où sont les réservoirs capables d'alimenter les thermes et les volcans. Ces immenses gisements d'eau, qui ont tant à fournir, se trouvent dans les montagnes, sur les hauts plateaux, dans les glaciers, dans les neiges éternelles accumulées sur les sommets les plus élevés, et qui, pour le dire en passant, ne sont éternelles que parce qu'elles sont sans cesse renouvelées. Ce sont aussi là les sources permanentes des ruisseaux, des torrents, des rivières, des fleuves.

Dans les Andes intertropicales, où les phénomènes météorologiques sont si réguliers, si constants, on étudie aisément, à de grandes altitudes, ces amas d'eau liquide ou concrète, suspendus au-dessus des vallées et des plaines. En escaladant une chaîne des Cordillères, on atteint généralement l'arête de partage à la hauteur de 3000 à 4000 mètres : c'est la région des nuages ; la température moyenne varie de 7 à 4 degrés ; il y pleut, il y neige, il y grêle presque tous les jours.

En décrivant mon ascension au volcan du Puracé, j'ai dit qu'aux Pajonales, à l'altitude de 3550 mètres, il tomba de la neige mêlée de grêlons, et que, au-dessus de l'Azufral, deux fois le vent m'avait renversé.

Si j'ai mentionné ces incidents, c'est que, s'étant reproduits pour d'autres explorateurs du Puracé, il est permis d'en inférer que, à cette station, l'état météorologique que j'ai signalé est assez fréquent. En effet, en 1800, Humboldt, en traversant le Pajonal, reçut une forte pluie mêlée de grêlons de 16 à 18 millimètres de diamètre; arrivé au Nevado, le vent le jeta violemment sur la neige. Cinquante-cinq ans après, le colonel Codazzi, à la même place, fut assailli par une bourrasque de grêlons, et à la limite inférieure du Nevado il fut terrassé par le vent comme nous l'avions été Humboldt et moi. Les Indiens qui lui servaient de guides étaient tellement effrayés par la crainte d'être poussés dans une fissure de l'Azufral qu'ils n'osaient plus se tenir debout. Codazzi trouva qu'un morceau d'étoffe entraîné par le vent parcourait un espace de 20 mètres en une seconde, ce qui donnerait une vitesse de 72 kilomètres à l'heure.

Des observations faites à ma recommandation, pendant une année, par M. Aguirre, dans la métairie d'Antisana, à l'altitude de 4200 mètres, établissent d'ailleurs la fréquence de la pluie, de la neige, de la grêle dans ces régions élevées.

Le faîte d'une montagne dans les Andes a le plus ordinairement une largeur de 2 à 3 milles. Au-dessus de 4800 mètres apparaissent les *nevados*. Dans la Cordillère centrale, entre le Tolima et le Ruiz, aux époques où des neiges sporadiques relient ces volcans, la zone couverte de glace a, d'après mes mesures, une surface de 6 à 7 lieues carrées, et si l'on considère que la différence entre la limite supérieure et la limite inférieure d'un nevado est quelquefois de 1100 mètres, on se formera une idée de l'énorme volume de neiges accumulées sur les sommets et sur les pentes des Cordillères.

La neige d'un nevado fond constamment : en haut par la chaleur solaire, durant les jours sereins; en bas, par

son contact avec la roche qui la supporte ; et si son niveau supérieur ne varie pas, en apparence du moins, c'est que, pendant des semaines, pendant des mois, le nevado, comme enseveli dans les nuages, devenu invisible, reçoit d'abondantes névées. La preuve, c'est qu'après cette occultation, dès que l'atmosphère recouvre sa transparence, on constate que la neige descend bien au-dessous de sa limite inférieure moyenne.

Dans les Andes, les bouches des volcans situés à de grandes hauteurs sont près et quelquefois au milieu même des neiges perpétuelles. Il en est ainsi du Tolima, du Ruiz, du Puracé, du Cumbal, où des vapeurs de soufre brûlent dans une enceinte de glace. Je puis ajouter que le cratère du Cotopaxi, où je suis parvenu à l'altitude de 5716 mètres, est dominé par un cône de neige ; enfin l'Antisana est entouré de monceaux de glace, sur lesquels mon baromètre indiqua une hauteur de 5600 mètres.

Les volcans dont l'altitude n'atteint pas celle des Nevados, comme le Pasto, le Tuqueres, le Pichincha, sont environnés de plateaux marécageux, de *pantanos*. En somme, l'eau est partout dans la proximité des volcans des Andes, et il est hors de doute qu'elle intervient dans les phénomènes volcaniques ; c'est du reste ce qu'admettent la plupart des géologues, en faisant concourir l'eau de la mer aux éruptions du Vésuve, de l'Etna, du Stromboli, etc.

L'eau, en s'infiltrant avec lenteur, fournit de la vapeur aux fumerolles, aux solfatares. A ces manifestations peu intenses, à cet état de repos succèdent subitement les éruptions les plus violentes, les plus désastreuses : c'est quand, par un ébranlement du sol, l'eau, la neige qui entourent ou recouvrent le volcan, pénètrent par de larges fissures dans le foyer souterrain : aussi observe-t-on que les tremblements de terre sont souvent les signes précurseurs des grandes éruptions. Alors les neiges disparaissent, d'énormes avalanches, des torrents de boue (*moya*) roulent sur la

pente de la montagne, pendant que du cratère sont lancés des blocs de trachytes incandescents. Durant ces paroxysmes, les montagnes sont si fortement ébranlées qu'il arrive que leurs sommets les plus saillants, et par cela même les moins étayés, se détachent, descendent dans les vallées, où leurs débris forment les *rumipambas*, ces champs de pierres que l'on prendrait pour des moraines d'anciens glaciers, si l'on n'avait pas assisté à la catastrophe qui les a amenés. C'est ainsi que s'écroula le Capac-Urcu, dont l'altitude dépassait autrefois celle du Chimborazo.

Les académiciens français envoyés au Pérou pour mesurer les trois premiers degrés du méridien furent témoins d'une de ces formidables commotions. C'était le 15 juin 1742.

Campés près d'un signal placé sur le Pichincha, ils virent, le matin, un tourbillon de fumée s'élever du Cotopaxi. Une partie des neiges entassées depuis des siècles entrèrent en fusion, inondèrent le pays. En 1743 et 1744, de nouvelles éruptions furent plus terribles encore : des cataractes de feu sortirent des flancs du volcan; une masse d'eau en ébullition couvrit, en quelques minutes, plusieurs lieues carrées, en roulant pêle-mêle avec elle des blocs de glace et de rochers ([1]).

Les fortes éruptions du Puracé occasionnent aussi la fusion des neiges; c'est ce que l'on vit en 1869 : leur niveau supérieur baissa de 300 mètres; sur certains points, la roche fut mise à nu.

C'est par l'eau sortant d'immenses glaciers et rencontrant dans son parcours de profondes crevasses où elle est échauffée, réduite en vapeur, que M. Bunsen explique les thermes, les *suffioni*, les geysers de l'Islande ([2]). L'eau in-

---

([1]) De la Condamine, *Journal du voyage fait, par l'ordre du roi, à l'Équateur*, p. 156.

([2]) *Recherches sur les rapports intrinsèques des phénomènes pseudo-volcaniques de l'Islande*. (*Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. XXXVIII, p. 385.)

tervient aussi dans les volcans de Java, dont les produits rappellent ceux des volcans des Andes équatoriales : boues liquides, pierres incandescentes, cendres sèches et, ce qui est surtout très-caractéristique, absence de laves. L'eau est émise en si prodigieuse quantité par les cratères, par les sources thermales, qu'il est réellement impossible de supposer qu'elle ne vienne pas de l'extérieur : des mers, lorsque les volcans sont près d'un littoral, à une faible altitude; de l'atmosphère, c'est-à-dire des pluies, des neiges, des lacs quand les bouches ignivomes sont ouvertes à des hauteurs de 3000 à 6000 mètres, ainsi qu'il arrive dans les Cordillères. C'est, au reste, l'opinion qu'adopta Gay-Lussac lorsqu'il se trouva en présence du Vésuve, avec Humboldt, de Buch, et le futur libérateur de l'Amérique du Sud, Bolivar.

Quatrième Partie.

Les volcans des Andes équatoriales ont une constitution géologique des plus simples; rien n'y fait présumer des phénomènes de métamorphisme. Loin des bouches, des fumerolles, on observe des basaltes, des obsidiennes, des ponces placés en dehors du cercle de l'action volcanique actuelle; des laves, je n'en ai vu nulle part. La fameuse coulée de l'Antisana, décrite par Humboldt, est une large bande de menus fragments de trachyte, à angles vifs, indiquant qu'ils n'ont été ni fondus, ni roulés, et que je ne puis mieux comparer qu'aux matériaux d'un empierrement de route attendant le rouleau compresseur. Au lieu de laves on voit des boues (*moyas*) consolidées, superposées en strates dont l'épaisseur dépend de l'intensité des éruptions; elles recouvrent la pente des montagnes, occupent le fond des vallées, s'étendent au loin et, profondément coupées par des effets d'érosion, elles offrent, comme les laves, des lambeaux isolés, sans lien avec leurs points d'émission.

La roche dominante, je pourrais dire la roche unique des volcans de l'Équateur est le trachyte, que M. Bunsen, dans son beau travail sur l'Islande, divise en deux groupes : le trachyte normal, mélange de bisilicate d'alumine et de silicates alcalins ; la roche pyroxénique normale, réunion de silicates basiques d'alumine et de fer mêlés à la chaux, à la magnésie, à la potasse, à la soude.

Ces groupes auraient pour composition moyenne :

	Trachyte normal.	Roche pyroxénique normale.
Silice	76,67	48,47
Alumine et FeO	14,23	30,16
Chaux	1,44	11,87
Magnésie	0,28	6,89
Potasse	3,20	0,65
Soude	4,18	1,96
	100,00	100,00

Le trachyte est donc une roche très-acide, relativement à la roche pyroxénique.

L'obsidienne noire d'Islande a la composition du trachyte normal du même système volcanique. Cette composition est aussi celle de l'obsidienne du Puracé, analysée par M. Joseph Boussingault.

	Obsidienne d'Islande.	Obsidienne du Puracé.
Silice	75,77	75,0
Alumine	10,29	10,7
Oxyde de fer FeO	3,85	2,7
Chaux	1,82	»
Magnésie	0,25	3,0
Potasse	2,46	4,9
Soude	5,56	3,0
Chlore	»	traces
	100,00	99,3

On doit à MM. Herman, Abich et Ramelsberg l'analyse de deux roches trachytiques prises sur le Chimborazo, la première à 4930, la seconde à 5820 mètres d'altitude.

	Abich.	Ramelsberg.
Silice	65,0	59,1
Alumine	16,0	13,5
Oxyde de fer FeO	5,8	7,3
Chaux	2,6	6,5
Magnésie	4,1	5,4
Potasse	2,0	2,6
Soude	4,5	3,5
Eau, chlore	0,4	»
	100,4	97,9

En supposant que l'alumine appartient à l'élément feldspathique, M. Gustave Rose en déduit que les roches du Chimborazo, de l'Antisana et du Rucupichincha peuvent être considérées comme formées de :

Oligoclase	58,66
Augite	35,14
Silice	4,08
	97,88

composition assignée au trachyte de Ténériffe par M. Charles Sainte-Claire Deville.

L'obsidienne est évidemment un trachyte normal.

Obsidienne.	Inde (1).	Platilla (Mexique) (2).	Guadalupe (2).
Silice	70,3	73,6	74,1
Alumine	8,6	14,2	10,4
Chaux	4,6	»	2,1
A reporter	83,5	87,8	86,6

(1) Damour.
(2) Charles Sainte-Claire Deville.

Obsidienne.	Inde.	Platilla. (Mexique).	Guadalupe.
Report....	83,5	87,8	86,6
Magnésie................	1,7	1,4	0,4
Oxydes de fer, de manganèse.	10,8	1,8	7,7
Potasse................	»	4,4	1,1
Soude..................	3,3	4,6	4,8
Chlore.................	»	0,1	»
	99,3	100,1	100,6

Les recherches que nous avons faites M. Damour et moi sur la cause de la tuméfaction de l'obsidienne nous ont conduits à doser le chlore et l'eau dans ce minéral. J'en reproduirai ici les résultats :

	Chlore exprimé en chlorure de sodium.	Eau.
Cerro de las Navajas (Mexique)..	0,0041	0,00277
Platilla (Mexique)............	0,0022	0,00636
Siccipamba (Équateur)........	0,0035	0,00121
Lipari......................	0,0044	0,00471
Islande.....................	0,0031	0,00394 (1).

Ainsi que les trachytes et les roches pyroxéniques du Chimborazo, de l'Antisana, les obsidiennes contiennent de l'eau et du chlore. J'ajouterai que les basaltes, les dolérites, les ponces chauffés au rouge fournissent de l'eau acidulée par de l'acide chlorhydrique.

Si j'ai autant insisté sur la nature des roches, sur les substances qu'on y rencontre à côté des espèces minérales qui les constituent, c'est pour établir que, dans le granite, le gneiss, la syénite, le grunstein porphyrique en relation, soit avec le trachyte, soit avec les roches pyroxéniques, il existe des chlorures et des sulfates que l'eau peut dissoudre, comme le prouvent les thermes et les salines iodifères

(1) Boussingault et Damour, *Annales de Chimie et de Physique*, 4e série, t. XXIX, p. 543.

répartis dans les divers groupes des terrains cristallins: les laves mêmes en contiennent à leur sortie des cratères. Dans des masses de sel marin rejetées par le Vésuve en 1822, Laugier trouva jusqu'à 0,10 de chlorure de potassium. A ces matières salines il convient d'ajouter le chlorhydrate d'ammoniaque, dont j'ai reconnu la présence dans les salines iodifères sortant du granite, de la syénite, du trachyte.

Les sels ammoniacaux appartiennent certainement aux productions volcaniques. Une lave vomie par l'Etna en 1635 en apporta de fortes quantités; en 1811 ce sel apparut en telle abondance qu'on put en approvisionner amplement les ateliers et les pharmacies de la Sicile. Dans la Tartarie centrale, on connaît deux volcans, véritables mines de sel ammoniac, exploitées par les Kalmouks qui en exportent les produits dans toute l'Asie ([1]).

Pour la question que je traite en ce moment, il n'est pas indispensable de connaître la source des matières salines disséminées dans les roches; il importe peu de savoir si les chlorures y ont été introduits par l'eau des mers; si les sulfates y préexistaient, ou s'ils sont dus à l'action du soufre sur les espèces minérales; je n'ai pas, en un mot, à discuter si les sulfates procèdent du soufre, ou le soufre des sulfates; ce que j'admets, on ne saurait le contester, c'est que, dans un foyer volcanique, des sels alcalins, de la vapeur aqueuse, des roches à silicates acides se trouvent en présence à une température élevée. Ces conditions étant posées, je me borne à rechercher comment il arrive que de l'acide chlorhydrique libre, de l'acide sulfurique libre soient élaborés en quantité assez forte pour acidifier des sources thermales communiquant ensuite leur acidité à de volumineux cours d'eau, à des torrents, à des lacs.

([1]) *Journal asiatique,* juillet 1824.

La formation de l'acide chlorhydrique dans un foyer où un chlorure est en contact avec les silicates d'un trachyte et de la vapeur aqueuse est la conséquence de ce fait découvert par Gay-Lussac et Thenard : que le sel marin mélangé à de la silice est décomposé au rouge par l'eau en vapeur, le chlore uni au sodium étant éliminé à l'état de gaz chlorhydrique. Si la vapeur n'est pas condensée, elle formera de ces jets continus, chargés d'acide, que l'on voit surgir de certains cratères; si, au contraire, la vapeur acide traverse une zone dans laquelle elle puisse être liquéfiée, on aura de l'eau chaude acide, un therme semblable à ceux du Puracé et du Ruiz. Toutefois les eaux thermales ne renferment pas uniquement de l'acide chlorhydrique libre : il s'y trouve aussi de l'acide sulfurique libre dont la présence n'est pas aussi facile à expliquer quand on renonce à l'attribuer à la combustion lente de l'acide sulfhydrique des solfatares, exigeant d'ailleurs l'intervention de l'atmosphère et ne donnant, en réalité, que des quantités d'acide insignifiantes si on les compare à celles venant de l'intérieur des volcans, puisqu'un seul cours d'eau, le Rio Vinagre, entraîne chaque jour des milliers de kilogrammes d'acide sulfurique.

Sans doute, des sulfates ainsi que des chlorures existent dans les trachytes, dans les roches pyroxéniques; mais par cela même que ce sont des oxysels, ils ne se comportent pas, au rouge, avec la silice et la vapeur d'eau, comme les sels haloïdes. En les fondant avec des matières siliceuses, on les vitrifie, les bases forment des silicates, l'acide sulfurique est expulsé, dissocié en acide sulfureux et en gaz oxygène. La décomposition exige une forte chaleur; elle est rarement complète : aussi Pelouze a-t-il toujours rencontré du sulfate de soude dans les produits de la verrerie fabriqués avec ce sel (1). J'ai d'ailleurs constaté qu'à une

(1) Pelouze, *Annales de Chimie et de Physique*, 4e série, t. V, p. 469.



température approchant de celle de la fusion du fer les sulfates alcalins et terreux sont détruits sans le concours de la silice. Il en ressort que, dans le cas où un sulfate viendrait à être vitrifié dans un foyer volcanique, ce ne serait pas de l'acide sulfurique qui s'en dégagerait, mais ses éléments : du gaz acide sulfureux et du gaz oxygène qu'absorberait vraisemblablement l'oxyde ferreux contenu dans les roches. Cette décomposition, cette dissociation de l'acide sulfurique, dans la condition que je viens d'indiquer, pourrait bien être l'origine du gaz acide sulfureux observé dans les cratères, dans les fumerolles où l'on ne voit pas brûler le soufre.

Il resterait à savoir si, dans les volcans, la chaleur est assez forte pour vitrifier les sulfates. Malheureusement, sur ce point, on manque de renseignements; les récits des voyageurs sont ou insuffisants ou empreints d'exagération : des cataractes, des torrents de feu, des millions de pierres échauffées au rouge, des laves liquéfiées brillant d'un éclat comparable à la lumière du Soleil [1]. Ce qu'il y a de vague dans ces expressions tient à ce que les géologues ne sont pas tous familiarisés avec une notion qui permet au chimiste, au métallurgiste de juger approximativement les hautes températures par « la couleur du feu ».

Dans la limite de mes observations, les blocs de trachyte, les cendres expulsées par les bouches ignivomes seraient ordinairement au rouge-cerise. Il est vrai, et je m'empresse de le faire remarquer, que les matières rejetées ne conservent pas la température qu'elles possédaient avant leur projection; toujours est-il que l'état où elles se trouvent à leur sortie du volcan permet d'estimer l'intensité de la chaleur à laquelle elles ont été soumises; ainsi les arêtes vives des fragments de trachyte sont évidemment

---

[1] De la Condamine, *Journal;* Clark, dans la *Géologie de Lycle*, 3e Partie. (Traduction.)

la preuve que cette roche n'a pas été exposée à un feu capable d'en opérer la fusion. La transparence, l'éclat vitreux des obsidiennes que l'on ramasse au pied du Puracé ou que l'on observe en gisements importants à Siccipamba, près du Cotopaxi, indiquent que l'incandescence de ce minéral n'a pas dépassé le rouge-cerise vif et, à plus forte raison, le rouge-orange, parce que, aux températures où ces nuances se manifestent, l'obsidienne éprouve un changement d'aspect des plus prononcés. Maintenue au rouge naissant, elle ne subit aucun changement. J'en ai laissé pendant huit jours dans un four à recuire les creusets destinés à la fonte de l'acier, au rouge sombre, sans qu'il en soit résulté autre chose qu'un léger affaiblissement dans l'éclat vitreux. Au rouge-orange, au contraire, l'obsidienne est instantanément tuméfiée en une masse spongieuse, incolore, remplie de vacuoles. C'est une sorte d'explosion occasionnée, ainsi que nous l'avons prouvé, M. Damour et moi, par une émission subite de vapeur d'eau et de gaz chlorhydrique, qui a lieu aussitôt que la cohésion du minéral, affaiblie par la chaleur, cesse d'être un obstacle à l'expansion de ces fluides élastiques. Toutefois, entre le rouge sombre et le rouge-cerise, chaleurs insuffisantes pour déterminer une expansion subite, la force de cohésion est cependant assez atténuée pour que, par la tension exercée à l'intérieur, l'obsidienne augmente graduellement de volume; en deux ou trois jours, elle acquiert l'apparence de certaines variétés de ponce. Au reste, il est aisé de reconnaître si l'état du minéral a été modifié par l'effet d'une température de 800 degrés (rouge-cerise) ou par l'effet d'une température de 1100 degrés (rouge-orange).

Ainsi, sur la pente du Pasto, j'ai ramassé des obsidiennes noires, translucides. La zone incandescente traversée par ces pierres ayant conservé leur éclat devait être, ainsi qu'au Puracé, à une température inférieure à

celle répondant à la nuance rouge-cerise. Aux bords d'une fissure, j'ai trouvé, mêlées à des fragments de trachyte disposés en talus, des obsidiennes boursouflées; elles avaient certainement été exposées au rouge-orange, mais non pas à une chaleur supérieure, parce qu'au rouge blanc une obsidienne tuméfiée fond en un verre homogène et transparent.

Du peu de fluidité des laves il ne faudrait pas en déduire que leur température n'est pas très-élevée; au reste, on a été bien renseigné sur le degré de chaleur qu'elles peuvent acquérir, par un chimiste illustre connaissant bien les « couleurs du feu ». Sir H. Davy, lors des éruptions du Vésuve, en 1820, vit au point d'émission une lave couler au rouge blanc, température égale, sinon supérieure, à celle de la fusion de la fonte de fer. En rapprochant cette indication précise des observations sur l'état physique des obsidiennes rejetées par le Puracé et par le Pasto, on est autorisé à croire que, dans un volcan, la chaleur est dans certains cas insuffisante, dans d'autres cas, assez intense pour opérer la vitrification des sulfates par la silice des trachytes; dans cette dernière condition, il est clair que l'acide sulfurique serait dissocié. Pour que de l'acide soit éliminé en nature, il faut que la décomposition des sulfates ait lieu à un degré de chaleur inférieur, ou tout au plus limite du degré auquel commence la dissociation.

La concomitance des acides chlorhydrique et sulfurique libres dans les eaux thermales émanant des volcans fait supposer que la décomposition des sulfates est solidaire de la décomposition des chlorures; et puisque ces derniers sels, en contact avec de la silice, au rouge, les éléments de l'eau intervenant, donnent du gaz chlorhydrique, on pouvait admettre que cet acide, une fois formé, agissait sur les sulfates et en expulsait de l'acide sulfurique échappé à la dissociation.

A ces suppositions on devait naturellement objecter

que le gaz chlorhydrique n'attaque pas les sulfates alcalins quand ils ne sont pas dissous. Cela est vrai, à froid; cependant il n'était pas invraisemblable qu'il en fût autrement au rouge, d'autant mieux que si, à une haute température, les sulfates alcâlins, y compris le sulfate de baryte, abandonnent leur acide, c'est qu'il y a là une atténuation dans l'affinité pouvant favoriser la réaction et faire que l'acide chlorhydrique transforme les sulfates en chlorures à une chaleur bien inférieure à celle qu'exige leur décomposition : c'est en effet ce qui arrive, ainsi que l'établissent les expériences que je vais décrire.

Les sulfates, mis dans une nacelle, étaient introduits dans un tube de platine maintenu entre le rouge sombre et le rouge-cerise. A l'une des extrémités du tube, on adaptait un ballon à deux tubulures : l'une, effilée, plongeait dans de l'eau destinée à dissoudre les vapeurs et les gaz solubles. Le tube était en communication avec un générateur de gaz chlorhydrique dégagé du chlorure de sodium par de l'acide sulfurique pur et concentré. Avant de pénétrer dans l'appareil, ce gaz passait à travers l'acide sulfurique afin d'arrêter la buée; par cette disposition, le gaz dirigé sur les sulfates ne renfermait pas d'acide sulfurique. Dans plusieurs expériences, le gaz chlorhydrique a été dégagé de l'acide chlorhydrique liquide, que l'on chauffait sans l'amener à l'ébullition. La vapeur d'eau, qui nécessairement accompagnait le gaz acide obtenu par ce moyen, n'a pas modifié les résultats.

I. —	Sulfate de baryte artificiel, pur.....	gr 0,487
	Chlorure de baryum obtenu........	0,431
	Théoriquement on aurait dû avoir...	0,434

Le chlorure de baryum dissous a laissé une trace de sulfate.

Ainsi, au rouge-cerise, le sulfate de baryte a été décomposé par le gaz chlorhydrique.

L'eau traversée par les gaz et la vapeur sortis du tube renfermait de l'acide sulfurique ; elle précipitait fortement par le nitrate de baryte.

II. —	Sulfate de strontiane artificiel	0,480 gr
	Chlorure de strontiane obtenu	0,411
	Théoriquement on aurait dû obtenir. .	0,4146

Le chlorure de strontiane dissous, il en reste un léger résidu de sulfate inattaqué.

L'eau traversée par les gaz et la vapeur contenait de l'acide sulfurique ; elle précipitait abondamment par les sels de baryte.

III. —	Sulfate de strontiane..............	0,375 gr
	Chlorure obtenu..................	0,323
	On aurait dû obtenir.............	0,324

Le chlorure n'a pas laissé de résidu après sa dissolution ; la décomposition du sulfate était complète ; le gaz chlorhydrique avait passé dans le tube pendant trois heures.

L'eau traversée par les gaz sortis du tube précipitait par les sels de baryte.

IV. —	Sulfate de soude	0,389 gr
	Chlorure obtenu..................	0,309
	On aurait dû obtenir..............	0,320

Le gaz chlorhydrique avait passé pendant deux heures ; le résidu ne renfermait plus de sulfate.

L'eau du laveur précipitait abondamment par le chlorure de baryum.

La notable différence entre le poids du chlorure de sodium obtenu et le poids du chlorure calculé indiquait qu'il y avait eu volatilisation. Cette différence s'est reproduite dans les expériences faites avec les sulfates alcalins.

V. —	Sulfate de chaux..	0,600 gr	= SO^3 0,353 gr
	Chlorure de calcium obtenu.	0,490	
	On aurait dû obtenir......	0,4897	

Le courant de gaz chlorhydrique avait passé pendant deux heures et demie ; il ne restait aucune traçe de sulfate dans le chlorure de calcium.

L'eau du laveur précipitait par les sels de baryte.

Dans ces expériences on a constaté généralement l'absence de sulfate dans les chlorures retirés de l'appareil et toujours la présence de l'acide sulfurique dans l'eau que les gaz et les vapeurs avaient traversée en sortant du tube. En dosant cet acide, j'ai été frappé de sa résistance à la décomposition dans les conditions où l'on opérait : lorsque la vapeur de l'acide sulfurique monohydraté se trouvait mêlée à un volume considérable de gaz chlorhydrique contenant du chlore et de la vapeur aqueuse ; or on sait, par les expériences de M. Henri Sainte-Claire Deville, avec quelle facilité cet acide est dissocié quand il est isolé.

Ainsi les $0^{gr},600$ de sulfate de chaux, renfermant $0^{gr},353$ d'acide sulfurique, ont été transformés par le courant de gaz chlorhydrique en $0^{gr},490$ de chlorure de calcium, nombre théorique ; et de l'eau du laveur on a retiré $0^{gr},2475$ d'acide sulfurique, précisément les $\frac{7}{10}$ de l'acide entrant dans la constitution du sulfate de chaux.

VI. — Sulfate de potasse..........	$\overset{gr}{0,500}$	=	SO^3 $\overset{gr}{0,2296}$
Chlorure de potassium obtenu .	0,211		
Chlorure calculé	0,428		

Le courant de gaz chlorhydrique avait passé pendant deux heures au rouge-cerise.

Le chlorure qui n'avait pas été volatilisé ne contenait plus de sulfate.

Dans l'eau du laveur on a dosé $0^{gr},145$ d'acide sulfurique, les $\frac{6}{10}$ de l'acide du sulfate.

VII. — Le sulfate a été mélangé à de la silice pour augmenter la surface exposée à l'acide chlorhydrique.

Sulfate de potasse................	0,500 gr	= SO^3 0,2296 gr
Silice........................	4,930	
	5,430	
Après l'opération le mélange pesait..	4,127	
Perte.........................	0,303	
Chlorure resté dans la nacelle.....	0,197	
Chlorure calculé................	0,428	

Le courant de gaz chlorhydrique passa pendant deux heures au rouge-cerise; le chlorure restant ne renfermait qu'une trace de sulfate.

De l'eau du laveur on retira 0^{gr},143 d'acide sulfurique, les $\frac{6}{10}$ de l'acide du sulfate de potasse.

VIII. — Sulfate de potasse..........	0,250 gr	= SO^3 0,1148 gr
Chlorure obtenu...........		
Chlorure calculé...........	0,214	

Le courant de gaz chlorhydrique avait passé durant une heure au rouge sombre.

Dans l'eau du laveur on dosa à 0^{gr},081 d'acide sulfurique les $\frac{7}{10}$ de l'acide du sulfate.

IX. — Sulfate de potasse.........	0,642 gr	= SO^3 0,2948 gr
Chlorure de potassium obtenu.	0,340	
On aurait dû obtenir.......	0,590	

Un courant très-rapide de gaz chlorhydrique passa pendant deux heures et demie au rouge naissant.

Le chlorure resté dans la nacelle ne renfermait plus de sulfate; près de la moitié du chlorure de potassium avait été entraînée.

Dans l'eau du laveur on trouva 0^{gr},278 d'acide sulfurique, les $\frac{9}{10}$ de l'acide du sulfate de potasse.

X. — J'ai cru devoir étudier la décomposition du bisulfate de potasse, en chauffant ce sel dans un courant de gaz

acide carbonique, afin de constater si l'équivalent SO^3, HO, que devait abandonner le bisulfate passant à l'état de sulfate, serait dissocié en tout ou en partie.

La température du tube de platine fut portée et maintenue au rouge-cerise.

Pendant le passage du courant d'acide carbonique, la vapeur d'acide sulfurique monohydraté devait parcourir une longueur de tube de 3 décimètres avant d'arriver dans le laveur.

Bisulfate de potasse..........	$0^{gr},490 = SO^3\ 0^{gr},144$
Sulfate de potasse resté dans la nacelle..................	0,300
On aurait dû obtenir.........	0,314

L'eau du laveur ne contenait pas d'acide sulfurique : les $0^{gr},144$ d'acide appartenant à l'acide monohydraté avaient été dissociés.

XI. — On a reproduit l'expérience précédente en faisant passer le courant de gaz acide carbonique sur le bisulfate chauffé au rouge sombre.

Bisulfate de potasse..............	$0^{gr},490$
Sulfate de potasse obtenu........	0,310
On aurait dû obtenir..............	0,314

Dans l'eau du laveur on a dosé $0^{gr},045$ d'acide sulfurique ; les $\frac{4}{10}$ seulement de l'acide auraient échappé à la dissociation malgré la basse température, ce qui rend vraisemblable que la décomposition commence lorsque l'équivalent d'acide sulfurique monohydraté se sépare de l'équivalent de sulfate de potasse auquel il est combiné dans le bisulfate.

XII. — Dans cette expérience, du bisulfate de potasse

fut soumis au rouge, à un courant de gaz chlorhydrique.

Bisulfate de potasse	0gr,490 = SO^3	0gr,288
Chlorure calculé.......	0,269 (1)	

Le courant de gaz chlorhydrique passa pendant deux heures.

Dans l'eau du laveur on dosa 0gr,200 d'acide sulfurique, les $\frac{7}{10}$ de l'acide entrant dans la constitution du bisulfate, tandis que, à la même température, la totalité de l'acide SO^3HO uni au sulfate de potasse avait été décomposée dans un courant de gaz acide carbonique. Il est très-probable que la divergence des résultats vient d'une action ultérieure qu'exercerait le chlore produit par la réaction du gaz chlorhydrique. En effet, le gaz acide sulfureux provenant de la décomposition de l'acide sulfurique, s'il est mêlé à du chlore, doit reconstituer de l'acide sulfurique en présence de l'eau. Au reste, dans cette série d'expériences, j'avais particulièrement en vue de mettre hors de doute ce fait, que, à un degré de chaleur capable de déterminer la dissociation de l'acide sulfurique, un sulfate est transformé en chlorure par l'acide chlorhydrique, et qu'une partie de l'acide sulfurique est entraînée sans être dissociée. Quant à la quantité d'acide décomposé, elle dépend nécessairement de la température et de la longueur de la zone incandescente parcourue par les vapeurs ; toutefois on vient de voir que la dissociation de l'acide sulfurique, fût-elle complète, peut être reconstituée par l'acide sulfureux, en présence du chlore.

La différence constante entre le poids des chlorures alcalins obtenus et celui donné par le calcul montrait assez qu'une partie de ces chlorures était volatilisée. On crut

(1) Un accident n'a pas permis de prendre le poids du chlorure resté dans la nacelle.

néanmoins devoir le constater en exposant un chlorure chauffé au rouge-cerise dans un courant de gaz.

I. — On fit passer pendant deux heures du gaz chlorhydrique.

Chlorure de potassium	gr 0,300
Après, il pesait	0,150
Chlorure volatilisé	0,150

Dans une autre expérience, on mit dans une nacelle 1 décigramme de sulfate de potasse sur lequel le gaz chlorhydrique passa au rouge-cerise vif; en moins d'une heure la nacelle était parfaitement nette : le chlorure de potassium résultant de la décomposition du sulfate avait disparu.

II. — Le courant de gaz chlorhydrique fut remplacé par un courant de gaz acide carbonique.

Chlorure de potassium maintenu au rouge vif..	gr 0,300
Après que le gaz eut passé pendant une heure...	0,205
Après la deuxième heure	0,153
Chlorure volatilisé en deux heures	0,147

C'est à peu près la perte éprouvée par le chlorure, pendant le même temps, dans le courant de gaz chlorhydrique. Le chlorure de potassium resté dans la nacelle était alcalin.

III. — Chlorure de sodium chauffé au rouge vif	gr 0,300
Après que le gaz eut passé pendant deux heures.	0,277
Après la troisième heure	0,267
En trois heures, chlorure volatilisé	0,033

Le chlorure resté dans la nacelle était sensiblement alcalin.

Dans les mêmes conditions, le chlorure de sodium s'est montré moins volatil que le chlorure de potassium.

La rapidité avec laquelle le chlorure de potassium diminue de poids, au rouge, dans un courant de gaz, me porta

à examiner si le sulfate de la même base, dans de semblables conditions, ne serait pas entraîné jusqu'au laveur; s'il en était ainsi, il y aurait eu une cause d'erreur dans l'estimation de l'acide sulfurique non dissocié. Il est vrai que l'absence de sulfate dans le chlorure resté dans l'appareil rendait vraisemblable que seulement ce dernier sel était volatilisé; d'un autre côté, ayant reconnu qu'à une haute température le sulfate de potasse disparaît complétement sans qu'il soit possible de savoir si la volatilisation a lieu avant ou pendant la dissociation de l'acide, il convenait de s'assurer si, même à un degré de chaleur de beaucoup inférieur à celui de sa volatilisation ou de sa décomposition, le sulfate n'émettait pas de vapeur; en un mot, si, au rouge-cerise, il n'avait pas une tension pour si faible qu'elle fût [1].

Le sulfate de potasse possède une propriété assez curieuse contre laquelle on doit se mettre en garde. Les cristaux décrépitent au feu; le sel fond à une assez haute température, puis, en se refroidissant, il perd toute cohérence : il devient en quelque sorte pulvérulent; or, pendant ce changement d'état, il peut y avoir projection de particules salines.

On mit dans une nacelle du sulfate que l'on y avait fondu et laissé refroidir avant de le peser. Sur le sel introduit dans un tube de platine on fit passer, au rouge-cerise, pendant deux heures, un courant de gaz acide carbonique sec, exempt de toute trace d'acide chlorhydrique. En sortant du tube le gaz traversait l'eau d'un laveur.

	gr
Sulfate de potasse mis dans la nacelle.....	0,185
Après le passage du gaz................	0,170
	0,015

La perte est peut-être due à quelques particules de sel

---

(1) Boussingault, *Actions décomposantes d'une haute température sur quelques sulfates.* (*Annales de Chimie et de Physique*, 4e série, t. XII, p. 419.)

projetées par décrépitation; néanmoins l'eau du laveur n'était pas troublée par le chlorure de baryum, elle ne renfermait pas d'acide sulfurique.

Le sulfate, dans la nacelle, était devenu très-faiblement alcalin ; il n'est pas douteux que, par l'action continue du gaz acide carbonique, il y ait eu production d'une quantité appréciable de carbonate de potasse. Quoi qu'il en soit, il est certain qu'au rouge-cerise du sulfate de potasse n'est pas entraîné, qu'il n'émet pas de vapeur et que, par conséquent, lors de la réaction exercée sur ce sel par le gaz chlorhydrique, dans l'acide sulfurique que l'on dose dans l'eau du laveur, il n'y a pas d'acide constituant un sulfate.

J'ai supposé que dans un volcan l'acide chlorhydrique est dû à la réaction des roches siliceuses et de la vapeur d'eau sur les chlorures. Il convenait de s'assurer si réellement la silice engagée dans le trachyte, dans le pyroxène, dans le feldspath, se comportait comme la silice pure employée par Gay-Lussac et Thenard dans leur mémorable expérience. Dans ce but, j'ai placé des mélanges de la matière siliceuse et de sel marin dans un tube de platine : lorsque la température avait atteint le rouge-cerise, on faisait arriver un courant de vapeur aqueuse ; c'est dans l'eau résultant de la vapeur condensée à la sortie du tube que l'on dosait par un procédé volumétrique l'acide chlorhydrique formé pendant l'opération. Pour rendre les observations comparables, les mélanges renfermaient une proportion constante de chlorure de sodium, et l'on avait soin de les étaler dans la nacelle de manière qu'ils présentassent la même surface (146 millimètres carrés). Quand la vapeur avait passé pendant quarante-cinq minutes, on procédait au dosage de l'acide produit.

I. — Mélange :

Silice pure	6,0 gr			
Chlorure de sodium pur	0,2	contenant chlore	0,1214 gr = HCl	0,1248 gr
Dans l'eau condensée, dosé acide chlorhydrique				0,122

En quarante-cinq minutes le chlorure de sodium avait été presque entièrement décomposé, le poids de l'acide dosé étant, à moins de 3 milligrammes près, le poids de l'acide calculé.

Il est possible, au reste, que la très-légère différence entre l'acide trouvé et l'acide calculé provienne de ce qu'une petite quantité de chlorure de sodinm ait été volatilisée, malgré la forte proportion de silice entrant dans le mélange.

Ces $0^{gr},122$ d'acide chlorhydrique obtenu indiqueraient $0^{gr},1956$ de chlorure décomposé.

II. — Trachyte vitreux...	6,0 gr		gr
Chlorure de sodium	0,2	représentant acide chlorhydrique	0,1248
Acide chlorhydrique obtenu			0,104

$0^{gr},104$ d'acide répondent à $0^{gr},1666$ de chlorure décomposé.

III. — Feldspath Labrador, en cristaux d'une grande pureté que je dois à l'obligeance de M. Daubrée.

Feldspath	6,0 gr		gr
Chlorure de sodium	0,2	représentant acide chlorhydrique	0,1248
Acide chlorhydrique obtenu			0,051

$0^{gr},051$ d'acide répondent à $0^{gr},0817$ de chlorure décomposé.

Le feldspath contient beaucoup moins de silice que le trachyte vitreux : aussi a-t-il décomposé une plus faible quantité de chlorure. Si l'on exprime par l'unité le chlorure de sodium attaqué par la silice, on a :

Silice, chlorure détruit	1,00
Trachyte	0,85
Feldspath	0,42

Ces résultats conduisaient à cette conclusion, qu'une roche trachytique, qu'une roche pyroxénique mêlée à des chlorures, à des sulfates alcalins ou terreux se comporterait comme de la silice pure, bien qu'avec moins d'énergie,

et que, à une chaleur rouge peu élevée, l'eau intervenant, il y aurait production de gaz chlorhydrique et d'acide sulfurique. En effet, du trachyte mélangé à du chlorure de sodium auquel on avait ajouté du sulfate de soude, de potasse ou du sulfate de chaux, a été soumis, dans un tube de platine chauffé au rouge-cerise, à un courant de vapeur. Dans l'eau condensée à la sortie du tube, on a constamment trouvé de l'acide chlorhydrique et de l'acide sulfurique.

De l'ensemble de ces recherches il ressort qu'à des températures comprises entre le rouge sombre et le rouge-cerise, en d'autres termes, entre 700 et 900 degrés, la vapeur d'eau, en agissant sur un mélange de chlorures et de sulfates en contact avec une roche riche en silice, telle que le trachyte, développe de l'acide chlorhydrique, et de l'acide sulfurique dont une partie peut être entraînée en nature par le courant de gaz acide et de vapeur aqueuse. La quantité d'acide sulfurique échappée à la dissociation dépendra, je le répète, du degré de chaleur et de l'étendue de la zone que parcourront les produits de la réaction. A une température très-élevée, la silice avec le concours de la vapeur déterminera toujours une formation de gaz chlorhydrique; toutefois, ce gaz ne sera plus indispensable à la décomposition des sulfates, la roche siliceuse suffisant pour l'effectuer en vitrifiant leur base; mais alors leur acide sera dissocié en oxygène et en acide sulfureux.

En résumé, la présence simultanée de chlorures et de sulfates dans une roche ignée permet, je crois, d'expliquer la formation de l'acide chlorhydrique, de l'acide sulfureux, et, dans certaines conditions de température, la présence de l'acide sulfurique monohydraté dans les émanations des cratères, des fumerolles, et, par suite, l'apparition de l'acide chlorhydrique, de l'acide sulfurique libres dans les eaux thermales qui prennent naissance dans les volcans des Cordillères équatoriales.

Cinquième Partie.

Concours des roches volcaniques à la formation et à la fertilité de la terre végétale.

On a vu, précédemment, que les cratères émettent deux éléments essentiels à la constitution des êtres organisés : le carbone et le soufre ([1]). Maintenant je me propose d'établir que les trachytes, les laves, les scories renferment, comme toutes les roches cristallines, des substances minérales sans lesquelles les plantes ne pourraient exister. Ces produits volcaniques, ces roches ont fourni et fournissent encore les matériaux de la terre végétale, et, pour faire comprendre leur intervention dans la formation du sol, il ne sera pas sans utilité d'exposer rapidement quelques notions empruntées à une leçon de Géologie agricole que j'ai faite au Conservatoire des Arts et Métiers.

La partie solide de notre planète n'a pas partout le même aspect à sa superficie. En parcourant une contrée

---

([1]) M. J.-W. Mallet, professeur de Chimie à l'Université de Virginie, me communique une observation intéressante sur des eaux acides surgissant au Texas, près de la rivière Nechees, dans des conditions différentes de celles que j'ai signalées. Ces eaux renferment de l'acide sulfurique libre : $5^{gr},29$ par litre.

L'eau est rassemblée dans un petit étang, le *Saour Lake;* il s'en dégage continuellement du gaz sulfhydrique, du gaz des marais, de l'acide carbonique. La terre environnante est imprégnée de soufre, de pétrole. A 50 milles plus à l'est, l'eau n'est plus acide, quoique des gaz combustibles, du pétrole apparaissent à la surface. Un sondage poussé à 450 pieds a atteint une couche de soufre natif de 100 pieds de puissance. On assure, dit M. Mallet, sur l'autorité d'officiers de la Confédération ayant servi dans l'ouest du Mississipi, que durant le blocus des ports des États du Sud les piles galvaniques des bureaux télégraphiques du Texas et de la Louisiane fonctionnaient avec de l'eau du lac acide.

montagneuse, on manque rarement d'observer une différence notable dans la nature chimique, dans la position relative des roches qui la constituent; et l'on acquiert bientôt cette conviction, que ces masses ont été formées et placées dans leurs situations actuelles à des époques distinctes.

En examinant attentivement les inégalités, les anfractuosités qui rident la surface de la terre, on ne tarde pas à reconnaître que les pics les plus élevés, que l'axe des chaînes de montagnes résultent de l'agglomération, du mélange de plusieurs espèces minérales. Ce sont des roches cristallisées souvent recouvertes jusqu'à une certaine hauteur, ou même cachées entièrement par d'autres roches, dont les éléments fragmentaires témoignent qu'elles proviennent de la désagrégation des terrains qui les supportent. La stratification de ces roches superposées, la configuration de leurs moindres particules, les vestiges de végétaux, de coquilles que l'on y rencontre attestent que leur dépôt a eu lieu successivement et au sein des eaux.

La première apparition des roches cristallines date probablement de la consolidation de l'écorce du globe : des matières mêlées intimement à une température capable d'en déterminer la fusion ou le ramollissement se sont combinées, suivant les lois de l'affinité, pour former des espèces minérales, ainsi qu'il arrive lorsque les laitiers, les scories de nos usines passent des états liquides ou visqueux à l'état solide. Les circonstances sous lesquelles le refroidissement s'est accompli ont sans doute occasionné les différences que l'on remarque dans la composition et la distribution des minéraux constituants : ainsi le granite, le gneiss, bien que d'une structure fort distincte, résultent l'un et l'autre d'un assemblage de feldspath, de mica, de quartz. Dans la syénite, le quartz manque généralement, le mica est remplacé par de l'amphibole, par le talc dans la protogyne. La pegmatite est une réunion de feldspath et

de quartz ; c'est alors un granite sans mica. Dans les trachytes, le pyroxène est substitué à l'amphibole des roches syénitiques. Le calcaire en relation avec les gneiss est grenu, saccharoïde ; par l'adjonction de la magnésie, il passe à la dolomie.

Les terrains de sédiments ne varient pas moins dans leur composition. Les causes qui ont désagrégé les roches cristallines ont détruit ou éliminé un ou plusieurs de leurs éléments. Les grès sont presque uniquement formés de grains de quartz mêlés à des lamelles de mica, plus rarement à des fragments de feldspath. Dans les assises les plus anciennes, comme les schistes argileux, les grauwackes, les espèces minérales originaires des roches sous-adjacentes se retrouvent plus au complet, moins altérées. Le calcaire de ces périodes géologiques est ordinairement compacte : il devient poreux, friable dans les dépôts les plus récents, à moins qu'il n'ait été modifié par des effets de métamorphisme.

Les sédiments ont été nécessairement déposés en bancs horizontaux : souvent c'est encore leur situation dans les plaines ; mais, en approchant des montagnes, on les voit se redresser, quelquefois même ils sont en couches verticales. Ces changements de position sont la conséquence de la tuméfaction, du soulèvement des masses sur lesquelles reposent les terrains arénacés ou calcaires.

Les géologues divisent les terrains sédimentaires en plusieurs groupes : tous, y compris les plus récents, sont recouverts par des alluvions. Les fossiles disséminés dans les calcaires, dans les grès, prouvent qu'à l'époque où les strates se sont déposées il existait déjà des plantes et des animaux.

C'est en étudiant les redressements de couches appartenant aux divers groupes de la série sédimentaire qu'Élie de Beaumont a établi l'âge relatif des principaux systèmes de montagnes. Ainsi une chaîne qui a relevé le

terrain crétacé a évidemment surgi lorsque la craie était déposée; elle est par conséquent moins ancienne qu'une autre chaîne sur laquelle sont assises horizontalement des couches de craie. Les systèmes de montagnes atteignant les plus grandes hauteurs semblent avoir apparu durant les dernières révolutions du globe. Le massif du mont Blanc a redressé les étages inférieur et moyen du terrain supercrétacé; les Andes, l'alluvion ancienne. Ainsi la grande chaîne américaine, où se trouvent de nombreux volcans en activité et des pics de trachytes d'une altitude considérable (1), serait plus moderne que les Alpes occidentales.

La constitution des couches sédimentaires montre que les roches cristallines, les roches ignées se désagrégent en galets, en gravier, en sable, en argile. Cet état fragmentaire a nécessairement précédé la consolidation des couches stratifiées; au reste la destruction des roches s'opère encore sous nos yeux par les actions combinées de l'eau et de l'atmosphère; l'eau s'insinue dans les rochers et, si elle vient à être congelée, elle écarte en se dilatant les molécules minérales. Le granite le plus tenace ne résiste pas à l'effet de cette expansion.

Les bancs d'argile intercalés dans une montagne sont aussi une cause de destruction. La catastrophe du Ruffiberg, près du Righi, en Suisse, en est une preuve. Des couches fragmentaires plongeant sous un angle de 45 degrés, ayant perdu leur support argileux entraîné par les eaux, glissèrent dans la vallée. L'éboulement eut lieu le 2 septembre 1806. Les villages de Goldau, de Businger furent écrasés : rien n'est aussi commun qu'un talus de

---

(1)

	Altitude.
Aconcagua (Chili)	6834 m
Sorata (Bolivie)	6487
Sohama (Pérou)	6812
Chimborazo (Équateur)	6530

détritus amoncelés au pied d'un escarpement; mais une avalanche de pierres n'est signalée qu'autant qu'il en résulte une calamité.

Si le déplacement, le glissement de bancs de sédiments s'expliquent par l'instabilité de couches argileuses qui en sont le soubassement, il n'en est plus ainsi des éboulements subits dans les terrains non stratifiés. La désagrégation instantanée de roches inaltérées, qu'on ne saurait attribuer aux effets de la gelée, à des ébranlements du sol, est fréquente dans les Andes.

La petite vallée de la Vega, dans la province du Cauca, est creusée dans une syénite porphyrique. Elle est dominée à l'ouest par Riosucio de Engurumà, à l'est par le pic de Tacon. Ces deux stations sont séparées par le torrent de Supia. Au bas du Tacon quelques familles indiennes cultivaient du maïs et de la canne à sucre. Un jour du mois de novembre 1819, à 7 heures du matin, on vit de Rio-sucio le Tacon s'écrouler en ensevelissant sous ses débris les malheureux cultivateurs. A la base de l'escarpement, des blocs de syénite porphyrique, entassés sur une hauteur de 20 à 30 mètres, formaient comme une coulée qui s'étendit jusqu'à 2 kilomètres de distance. Sept ans après l'événement, je trouvai l'éboulement recouvert d'une jeune et vigoureuse forêt de Mimosas.

Un fait de désagrégation spontanée, aussi bien caractérisé que celui de Tacon, me fut révélé dans mon voyage de Popayan à Pasto. Je descendais de Muechisa dans la vallée du Guaytara; parvenu à un point d'où l'on embrassait le cours de la rivière sur une grande étendue, mon guide me fit remarquer sur la rive gauche une énorme protubérance de roches, puis il ajouta : « Là était l'hacienda del Arguello. De l'endroit où nous sommes je vis accourir sur la plage et comme affolés les habitants de la ferme fuyant devant un torrent de pierres; on distinguait les maîtres, les esclaves; je les vis s'agenouiller, lever les bras

vers le ciel, puis disparaître sous les décombres, où ils sont encore (1). »

La syénite porphyrique du Guaytara est à pâte feldspathique, traversée dans tous les sens par de larges et profondes fissures.

Une autre cause puissante de destruction provient d'actions chimiques déterminées par des influences météorologiques. Le feldspath, l'amphibole, le mica, le pyroxène sont alors profondément altérés. L'orthose, l'oligoclase du granite perdent leur éclat, deviennent terreux, friables en se transformant en une argile, le kaolin. Le protoxyde de fer des silicates atteint le maximum d'oxydation. L'oxygène, l'acide carbonique de l'atmosphère, l'eau sont les agents principaux de ces modifications qui se propagent quelquefois très-avant dans les roches, ainsi qu'on le voit dans les carrières de terre à porcelaine, ainsi que j'ai pu le reconnaître dans une syénite porphyrique où l'on exploitait un filon aurifère. Dans la mine de Cucurusapé, j'ai suivi l'altération du feldspath à plus de 100 mètres au-dessous du jour. Au milieu de la roche altérée, le mineur traversait çà et là des parties échappées à la décomposition. Les monuments nous montrent de ces granites, de ces syénites inaltérables : tel est l'obélisque de Saint-Jean de Latran, à Rome, taillé à Syène, 1300 ans avant l'ère chrétienne ; tel est encore l'obélisque de la place de Saint-Pierre, consacré au Soleil par un fils de Sésostris, il y a plus de 3000 ans.

L'inégalité de résistance à l'altération occasionne dans le granite ces dépressions, ces cavités, que la légende attribue à l'empreinte du pas d'un cheval gigantesque, ou ces monolithes terminés en pivot à leur base, nommés *pierres branlantes*, parce que le moindre effort les fait os-

(1) C'était en 1813. La famille blanche et les nègres formaient un personnel de 80 personnes.

ciller. Il est rare de ne pas rencontrer sur un plateau granitique des blocs isolés, dispersés, offrant parfois les assemblages les plus fantastiques.

Les calcaires saccharoïdes ne résistent pas mieux que les granites aux agents atmosphériques; par leur peu de dureté ils cèdent d'ailleurs aisément aux actions mécaniques, aux frottements.

Les modifications éprouvées par les minéraux constitutifs des roches ne proviennent pas d'un changement dans l'état moléculaire; leur nature est complétement transformée, quelques-uns de leurs éléments sont exclus; les feldspaths, par exemple, perdent leur alcali.

Ebelmen, dans un Mémoire d'une haute portée, a fait voir que l'acide carbonique est l'agent de l'atmosphère le plus actif de la destruction des silicates. La potasse, la soude, la chaux, la magnésie constituent des carbonates ; la silice devient libre; sa solubilité explique sa disparition. Les carbonates formés sont ou dissous ou entraînés; à mesure que le silicate s'altère, il se rapproche de plus en plus de l'argile qui, en s'unissant à l'eau, devient plastique et absolument insoluble : aussi, après la décomposition du feldspath, du mica, de l'amphibole, du pyroxène, l'alumine de ces minéraux reste à l'état argileux. C'est un jalon, un point de repère indiquant la nature des principes éliminés.

En partant de la composition du kaolin donnée par Berthier, en supposant qu'il dérive du feldspath orthose pur, c'est-à-dire d'un silicate d'alumine et de potasse, dans lequel l'oxygène de la silice est trois fois l'oxygène des bases, on aurait :

	Kaolin.	Orthose.
Silice........	46,8	64,6
Alumine.....	37,3	18,5
Potasse......	2,5	16,9
Eau.........	13.4	0,0
	100,0	100,0

Admettant avec Ebelmen que l'alumine du kaolin représente toute l'alumine du feldspath avant la modification, on peut, en prenant une quantité de kaolin renfermant la proportion d'alumine particulière à l'orthose, trouver les éléments perdus ou acquis pendant la décomposition :

	Alumine.	Silice.	Potasse.	Eau.
Orthose.......	18,5	64,6	16,9	0,0
Kaolin	18,5	23,2	1,2	6,7
Différences. .	0,0	— 41,4	— 15,7	+ 6,7

En passant au kaolin, 100 parties d'orthose ont abandonné 41,4 de silice, 15,7 de potasse, et il y a eu acquisition de 6,7 d'eau.

En comparant la composition d'une roche volcanique, le basalte, avant et après l'altération, on arrive à une conclusion analogue ; de plus, on trouve que la silice disparaît, alors même qu'il n'y a que fort peu d'alcali expulsé.

Le basalte, objet de la comparaison, venait de Crouzet (Haute-Loire) ; c'est une roche compacte, noire, d'une grande ténacité ; on y distingue des grains verts de péridot, des lamelles de labrador, silicate d'alumine et de chaux. Décomposé, ce basalte est terreux, friable, d'un blanc jaunâtre.

Les analyses d'Ebelmen ont donné :

	Basalte altéré.		Basalte non altéré.
Silice...............	36,7		46,1
Alumine	30,5		13,2
Chaux...............	8,9		7,3
Magnésie............	0,6		7,0
Potasse	0,7		1,8
Soude...............	1,0		2,7
Acide de fer Fe^2O^3....	4,3	FeO...	16,6
Eau................	16,4		4,9
	99,1		99,6

	Alumine.	Silice.	Chaux.	Magnésie.	Potasse.	Soude.	Oxyde de fer.	Eau.
Basalte........	13,2	46,1	7,3	7,0	1,8	2,7	16,6	4,9
Basalte altéré....	13,2	15,8	4,0	0,3	0,3	0,4	1,8	7,1
Différences....	0,0	—30,3	—3,3	—6,7	—1,5	—2,3	—14,8	+2,2

Il y a eu fixation d'eau ; tous les éléments, sauf l'alumine, ont été éliminés en fortes proportions. La disparition presque complète de la magnésie est une preuve de la destruction du péridot.

Dans le basalte altéré, le fer reste à l'état de sesquioxyde ; la suroxydation semble avoir précédé l'entraînement du métal. La roche modifiée, ainsi que le kaolin, retient un peu d'alcali. C'est là un fait à l'appui de l'opinion qui considère les argiles comme étant le résidu de la décomposition des silicates. En effet, les argiles de toutes les époques géologiques renferment des traces de potasse ou de soude.

Tous les dépôts arénacés, calcaires, magnésiens, argileux, accumulés à la surface du globe, proviennent de la désagrégation des roches cristallines et de la décomposition des espèces minérales dont elles sont formées. La désagrégation continue dans les roches stratifiées. Il en résulte ces terrains meubles placés sur les pentes peu inclinées, ou dans les plaines.

L'eau porte au loin les roches désagrégées ; elle les dépose en galets, en gravier, en sable, en limon suivant la rapidité de son mouvement et la longueur de son parcours. Ainsi, dans les Alpes-Maritimes, des blocs des plus fortes dimensions arrivent jusqu'à la mer. Un fleuve, lorsque son cours se ralentit, n'entraîne plus vers son embouchure que les particules les plus ténues : c'est ce qui arrive, pour citer un exemple, aux bouches de l'Elbe où, pendant le calme qui précède chaque marée montante, les matières limoneuses sont précipitées en un sédiment que les vagues rejettent ensuite sur la plage. Par suite de ces rejets successifs, le rivage s'élève assez pour rester à sec dans les marées

moyennes. Ces alluvions d'une étonnante fertilité sont la base des *polders*, dont l'agriculture hollandaise tire un si grand parti. Dans les hautes marées, ou pendant les tempêtes, les polders seraient submergés, si l'industrie n'eût créé des dunes artificielles, des digues pour opposer un obstacle aux invasions de l'Océan.

La masse des matières terreuses charriées par les fleuves est considérable ; on peut s'en former une idée par l'épaisseur et l'étendue du limon déposé annuellement dans les deltas du Nil, du Gange, du Mississipi, etc.

Les graviers, les sables, les limons sont généralement la base du sol où les végétaux se développent ; quelles qu'en soient la constitution chimique, les propriétés physiques, la terre végétale dérive toujours directement, ou indirectement des roches cristallines, des roches ignées : directement quand elle vient du granite, du gneiss, du micaschiste, des syénites, des trachytes, des basaltes, des laves ; indirectement si ses éléments ont appartenu aux grès, aux calcaires, aux argiles des terrains stratifiés, car les dépôts sédimentaires procèdent tous des roches cristallines, de la désagrégation du quartz, de la décomposition des silicates. Les particules de la grauwacke, comme les particules des roches détritiques plus récentes, ont été du gravier, du sable, du limon avant d'être consolidées ; elles se trouvaient, en un mot, à l'état où est encore aujourd'hui le dépôt de la dernière révolution géologique, l'alluvion ancienne.

Selon Élie de Beaumont, la terre végétale a commencé à se déposer depuis très-longtemps à la surface du globe. Desséchée, elle est quelquefois assez ténue pour être transportée par le vent à d'énormes distances ; toujours elle peut être entraînée par les pluies, charriée par les fleuves : l'air, l'eau sont donc des véhicules qui tendent constamment à la déplacer.

Cette poussière des roches désagrégées devient dans

certaines circonstances un important phénomène. Accumulée sur de grandes étendues, elle forme les déserts de la Lybie, les *pampas* de l'Amérique méridionale où, en raison de son extrême ténuité, elle s'agite, se meut à la manière des flots, en produisant des vagues qui ensevelissent des caravanes, des villages. En Égypte, la poussière apportée du désert recouvre des terrains que l'on cultivait encore sous la domination des Turcs. Le vent de l'intérieur de l'Afrique saupoudre de sable des navires à 1000 kilomètres des côtes.

La poussière étalée à la surface du globe ne se déplace qu'autant qu'elle est dénudée. Il n'en est plus ainsi quand elle a été envahie par la végétation, quand elle est recouverte de gazon ; la terre est alors solidement fixée, et il est facile de prouver qu'elle forme une couche extrêmement ancienne, dont l'épaisseur, ou plutôt dont le niveau supérieur n'a pas varié depuis les temps historiques les plus reculés.

A l'appui de cette assertion, Élie de Beaumont rappelle ces monuments druidiques, les *pierres levées* (*men-hir* et *dol-men*), blocs de rochers allongés, implantés verticalement dans le sol. Leur érection est certainement antérieure à l'invasion des Gaules par César; cependant leur base est toujours enfoncée dans la terre végétale tout juste ce qu'il faut pour que le *men-hir* se tienne debout. Dans les *dol-men,* assemblage de pierres représentant l'encadrement d'une porte, la pièce horizontale inférieure, le seuil, est encore de niveau avec la surface du gazon ; il serait évidemment enterré si la terre eût augmenté d'épaisseur ; dans le cas contraire il y aurait eu un déchaussement. Rien de semblable n'a eu lieu. Une autre preuve tout aussi certaine de la fixité, de la solidité de la terre végétale garnie de plantes vivaces, est prise dans les travaux agricoles. On connaît en Espagne des champs abandonnés depuis des siècles et qui sont couverts de gazon; les sillons

autrefois tracés par la charrue sont encore dans un parfait état de conservation. Une conséquence qu'il est permis de tirer de ces faits, c'est que l'engazonnement suffit amplement pour retenir la terre sur les pentes abruptes, et que, pour lui donner de la stabilité, il n'est pas nécessaire d'avoir recours au reboisement; l'herbe, d'ailleurs, vient là où les conditions météorologiques ne permettent pas la croissance des arbres.

Un sol, une alluvion, pour peu qu'il y ait de l'humidité, est fertile à différents degrés. C'est que d'un côté il s'y trouve, à cause de son origine, des substances minérales qu'on retrouve dans l'organisme des plantes, et que, de l'autre, l'atmosphère, les eaux pluviales, lui apportent des composés azotés assimilables.

Les substances minérales sont précisément celles que contiennent les roches cristallines, les roches volcaniques. En jetant un coup d'œil sur la composition des principaux minéraux, on y reconnaîtra les mêmes bases alcalines et terreuses, les mêmes acides, que l'on rencontre dans les cendres des végétaux.

Composition des principales espèces minérales entrant dans la composition des roches cristallines.

		Silice.	Alumine.	Chaux.	Magnésie.	Potasse.	Soude.	Oxyde de fer.	Oxyde de manganèse	Eau.	Densité.
Feldspaths	Orthose ([1])....	66,8	17,5	1,3	″	12,0	″	0,8	″	″	
	Id. ([2])...	65,8	18,0	″	″	14,1	1,4	″	″	″	2,55
	Id. ([3])...	65,2	18,3	″	″	14,7	1,5	0,3	″	″	
	Albite.........	68,7	19,9	″	″	″	9,1	0,3	″	″	2,63
	Oligoclase. ...	64,2	23,3	8,8	0,4	″	8,8	2,4	″	″	2,70
	Anorthite......	44,5	34,5	15,7	5,3	″	″	0,7	″	″	″
Mica à 1 axe...............		42,0	16,1	″	26,0	7,6	″	4,9	″	″	2,92
Id. à 2 axes...........		48,5	33,9	″	″	11,3	″	″	1,3	3,0	
Amphibole ([4])..............		45,7	12,2	13,8	18,8	″	″	7,3	0,2	1,5	″
Pyroxène..................		54,9	0,2	23,6	16,5	″	″	1,8	2,0	″	″
Péridot ([5])................		44,4	0,2	″	49,2	″	″	9,7	0,1	″	″
Talc ([6])...................		58,2	″	″	33,2	″	″	4,6	″	″	″

([1]) De Lemnitz.
([2]) De Ténériffe.
([3]) De Carlsbad.
([4]) De Pargas.
([5]) Du Vivarais.
([6]) Du Saint-Gothard.

Les roches cristallines étant antérieures aux roches sédimentaires, aux alluvions, la potasse que les plantes trouvent dans un sol fertile vient surtout de l'orthose et du mica. La nature et la quantité d'alcali contenu dans un granite, dans un trachyte, dépendent naturellement des espèces minérales qui les constituent : ainsi la domite du Puy-de-Dôme serait presque entièrement formée d'orthose.

J'ai eu l'occasion de rappeler que, sur les sommets des Andes équatoriales, les trachytes renferment de la potasse, de la soude, de la silice, de la chaux, de la magnésie, dans des proportions qui autorisent à les considérer comme des mélanges d'oligoclase, d'orthose et d'augite.

On a réuni dans un tableau les quantités d'alcali qui entrent dans différentes roches :

Dans 100 parties.	Potasse.	Soude.	Densité.
Granite, moyenne de 19 analyses	4,3	2,6	2,69
Gneiss, moyenne de 2 analyses	3,9	0,7	2,75
Micaschiste des Pyrénées	2,5	0,6	2,70
Syénite, moyenne de 7 analyses	6,4	5,4	2,66
Grunstein	0,6	1,7	"
Trachyte des Andes, moyenne de 2 analyses.	2,3	4,0	
Trachyte d'Islande	3,2	4,2	2,75
Trachyte du mont Dore	4,9	3,5	
Obsidienne du Puracé	4,9	2,5	"
Obsidienne d'Islande	2,5	5,6	"
Ponce de Saint-Felipe (Équateur)	1,4	6,0	"
Phonolithe du mont Dore	4,1	4,5	2,90
Basalte, moyenne de 4 analyses	2,5	2,7	2,93
Laves du Vésuve, moyenne de 3 analyses	4,8	3,1	"
Laves de l'Etna, moyenne de 2 analyses	2,4	2,9	"
Laves de Ténériffe, moyenne de 2 analyses	1,3	3,0	"
Lave de Volvic	3,7	4,3	"
Cendres volcaniques (Java)	1,1	3,8	"
Cendres volcaniques (Vésuve)	6,5	3,1	"

L'acide phosphorique n'est pas indiqué dans les espèces minérales dont j'ai présenté la composition et auxquelles, en définitive, il convient d'attribuer l'origine du sol ; c'est

que les analystes ont négligé de le rechercher. Cependant les végétaux donnent des cendres renfermant constamment des phosphates qu'ils ont puisés dans la terre où ces sels préexistent, à n'en pas douter, non-seulement dans celle qui a reçu des engrais, mais aussi dans la terre des forêts qui n'en reçoit jamais. D'après M. Schlœsing, il est des sols arables dans lesquels on dose $1^{gr},7$ d'acide phosphorique par kilogramme ([1]). Dans 1 décimètre cube d'un sable granitoïde de l'Ardèche, M. de Gasparin en a trouvé $6^{gr},2$ ([2]).

Des sols vierges de la vallée des Amazones j'ai extrait, par kilogramme, en acide phosphorique :

Bords du Rio Madeira......	$0^{gr},864$ ([3])
» du Rio Negro.........	$0^{gr},792$
» du lac Saracca........	$0^{gr},176$
» du Rio Cupari........	$0^{gr},445$

Que les phosphates, avant d'appartenir au sol, aient fait partie de l'organisme des plantes et des animaux de l'époque actuelle ou des époques géologiques les plus éloignées, toujours est-il qu'ils sont venus des roches cristallines, puisqu'il fut un temps où il n'y en avait pas d'autres sur le globe.

L'acide phosphorique est, en effet, fort répandu dans tous les terrains. Dans les gîtes métallifères, il est uni au plomb, au cuivre, au manganèse, à la chaux, à la magnésie; il est rare qu'un minerai de fer en soit exempt; le graphite lamellaire des terrains les plus anciens contient quelquefois du phosphore. D'après les teneurs moyennes et les chiffres d'extraction, M. Daubrée estime que les minerais fondus chaque année dans les hauts-fourneaux d'Angle-

---

([1]) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. LXVII.
([2]) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. LXVIII.
([3]) *Agronomie, Chimie agricole et Physiologie*, 2e édit., t. II, p. 18.

terre, de Belgique et de France représentent au delà de 30 000 tonnes de phosphore. Les travaux récents ont fait voir qu'il y a des phosphates dans toutes les roches volcaniques, dans les trachytes, les basaltes. Les laves portent fréquemment des cristaux d'apatite; M. Charles Sainte-Claire Deville en a retiré 0,014 à 0,022 des laves du Vésuve et de l'Etna. Le basalte de Rossdorf, la dolérite du Meissner ont donné 0,03 à 0,04 de phosphate de chaux. Dans les basaltes de Ballarat (Victoria), on rencontre de la vivianite (phosphate de fer).

Les kaolins de Dartmoor et de Passau présentent des indices très-nets d'acide phosphorique, ce qui en implique la présence dans les granites de ces localités. Au reste, les petits filons d'apatite sont fréquents dans le granite, le gneiss, le micaschiste, le schiste talqueux.

C'est, sans aucun doute, à la réunion des alcalis, des phosphates, des sels ammoniacaux, que les sols d'origine volcanique doivent en partie leur fécondité exceptionnelle. On peut citer le voisinage de l'Etna, la campagne de Naples, les vignobles plantés sur les coteaux du Vésuve; en Auvergne, les riches cultures de la Limagne; à l'Équateur, près de Latacunga, les plantureux herbages de Puela, d'Angamarca; les champs de maïs de Pomasqui, établis sur les trachytes, les ponces du plateau de Quito.

C'est en masses énormes que les bouches ignivomes ont rejeté et rejettent encore les matériaux des sols fertiles. On s'en formera une idée par ce qu'il a fallu de débris pour combler les profondes fissures ouvertes dans le trachyte, pour niveler ces plateaux étendus qui contournent les sommités des Andes. Les cendres du Sangay, lancées sans interruption depuis des siècles, recouvrent plusieurs lieues carrées d'un dépôt meuble auquel il ne manque que de l'eau pour devenir productif. C'est ainsi que, dans l'Inde, les scories, les poussières du volcan de Tamboro, lors d'une éruption mémorable par les désastres qu'elle occasionna,

représenterait, d'après M. Laugel, un volume triple du volume du mont Blanc (1). Ces produits éruptifs ont souvent ce caractère d'arriver à la surface de la terre sans cohésion, à l'état pulvérulent, car, je le répéterai ici, des volcans des Andes équatoriales il ne sort pas de lave. De la Condamine l'avait déjà constaté : « Je n'ai point connu la matière de la lave en Amérique », a écrit l'illustre académicien (2).

Il en est autrement dans plusieurs régions volcaniques,

---

(1) Laugel, *Études scientifiques*, p. 293.

(2) De la Condamine ajoute : « Quoique nous ayons, M. Bouguer et moi, campé des semaines et des mois entiers sur les volcans, notamment sur ceux de Pichincha, de Cotopaxi et de Chimborazo, je n'ai vu sur ces montagnes que des vestiges de calcination sans liquéfaction. Cependant l'espèce de cristal noirâtre appelé vulgairement au Pérou *piedra de gallinaço* (obsidienne), dont j'ai rapporté plusieurs morceaux et dont on voit une lentille polie de 7 à 8 pouces de diamètre au cabinet du Jardin du roi, n'est autre chose qu'un verre formé par les volcans. La matière du torrent de feu qui découle continuellement de celui de Sangay, dans la province de Macas, au sud-est de Quito, est sans doute une lave ; mais nous n'avons vu cette montagne que de loin, et je n'étais plus à Quito dans le temps des dernières éruptions du volcan de Cotopaxi, lorsque sur ses flancs il s'ouvrit des espèces de soupiraux d'où l'on vit sortir à flots des matières enflammées et liquides qui devaient être d'une nature semblable à la lave du Vésuve. » (*Journal d'un voyage en Italie.*)

Humboldt fait remarquer que le choix de ces deux exemples, et surtout du premier, n'est pas heureux. Le Sangay a été exploré récemment par MM. Wisse et Moreno, et ce que de la Condamine a pris pour une coulée de lave ardente n'était autre chose que des pierres incandescentes et des masses de scories, qui glissent quelquefois en bandes serrées sur le versant abrupte du cône de cendres.

M. Wisse a été, comme ingénieur, attaché pendant huit ans au service de l'État de l'Équateur. Dans la belle collection géologique qu'il a envoyée au Muséum d'Histoire naturelle, il n'y a pas un échantillon que l'on puisse rapporter à une lave.

« Le *Journal d'un voyage en Italie*, dit de Humboldt, a quelque importance pour l'histoire de la connaissance des volcans éteints en France, parce que, sans rien savoir des assertions antérieures de Guettard, de la Condamine, avec sa pénétration ordinaire, affirme formellement l'existence de cratères-lacs et de volcans éteints dans la France méridionale aussi bien que dans les parties centrales et septentrionales de l'Italie. »

Humboldt, *Cosmos*, t. IV.

en Islande par exemple, où, en 1785, un courant de laves, descendu du Jkapter-Jokul, forma, en se solidifiant, un massif de 160 kilomètres carrés sur une hauteur moyenne de 100 mètres ([1]).

Ainsi il y a dans les produits des feux souterrains, comme dans les roches feldspathiques et micacées, des quantités incalculables de matières pouvant devenir, aux époques d'apaisement, des éléments de fertilité. En se bornant à considérer la potasse, la soude, on arrive à cette conséquence que, dans 1 mètre cube des espèces minérales entrant généralement dans la constitution des roches, il s'y trouve :

	Poids du mètre cube.	Potasse.	Soude.	Alcali total.
	kg	kg	kg	kg
Orthose (moyenne)..	2550	347	37	384
Albite (moyenne)....	2630	89	231	320
Oligoclase..........	2700	»	238	238
Mica (moyenne).....	2900	292	»	292

Dans les roches, la teneur en alcali varie suivant la nature de leurs parties constituantes, puisqu'elles résultent de l'association de silicates d'alumine combinés, soit à des silicates alcalins, soit à des silicates de chaux, de magnésie, à du quartz. Ainsi tel granite, telle syénite contiendra, je l'ai déjà fait remarquer, d'autant plus de potasse qu'il y entrera plus de feldspath orthose, plus de mica :

	Poids du mètre cube.	Potasse.	Soude.	Alcali total.
	kg	kg	kg	kg
Granite............	2690	116	70	186
Gneiss.............	2750	108	19	127
Micaschiste (Pyrénées)	2700	67	16	83

([1]) Laugel, *Études scientifiques.*

	Poids du mètre cube.	Potasse.	Soude.	Alcali total.
	kg	kg	kg	kg
Syénite.............	2660	170	143	313
Trachyte............	2750	118	96	214
Phonolithe (mont Dore)	2900	119	130	249
Basalte (moyenne)....	2930	79	76	155

Ces roches, en s'altérant, en se désagrégeant, introduisent des alcalis dans le sol, à la production duquel elles ont concouru.

Chaque récolte enlève à la terre un certain poids de matières fertilisantes; si les plantes récoltées sont portées au marché, si elles ne retournent pas aux champs en passant par la fosse au fumier, le sol sera appauvri, à moins qu'on ne lui restitue par des amendements ce que la culture en aura distrait.

En pesant les produits exportables d'une vigne de Lampertsloch, en Alsace, le vin, le marc de raisin, les sarments venant de la taille des ceps, puis en déterminant la quantité et la composition des cendres de ces matières, j'ai vu que, sur un hectare, il y avait eu de prélevé ([1]) :

	kg
Potasse....................	16,4
Soude......................	0,15
Chaux......................	12,5
Magnésie..................	3,2
Acide phosphorique..........	7,2
Acide sulfurique............	1,9

D'après cette donnée, il y aurait dans 1 mètre cube de feldspath orthose assez de potasse pour en fournir à la culture pendant vingt et une années.

J'ai choisi la vigne, parce que les produits exportés,

([1]) *Agronomie, Chimie agricole et Physiologie*, 2e édit., t. V.

particulièrement le vin, sont riches en potasse. Toutefois il est telle récolte de betteraves, de trèfle, qui prélève plus d'alcali; mais ordinairement les fourrages sont consommés à l'étable, et presque toute la potasse qu'ils contiennent retourne à la terre avec le fumier.

C'est par les engrais que l'on rend au sol les principes qui en ont été enlevés. L'opportunité de la restitution est incontestable; mais, avant d'aller plus loin, il convient d'en préciser le véritable caractère; c'est pour l'avoir méconnu que des savants, étrangers à la pratique de l'agriculture, ont prétendu que la restitution était, dans tous les cas, absolument indispensable; qu'il fallait, après chaque récolte, rendre poids pour poids, qualité pour qualité, les substances sorties avec les plantes, sous peine de voir la terre frappée de stérilité, en s'appuyant sur cette fausse notion qu'elle ne renferme que fort peu de matières minérales nécessaires à la végétation. On arriva ainsi à une théorie dont l'exagération introduisit dans le commerce des engrais un vil charlatanisme.

La vérité est qu'une terre riche, bien constituée, continue à donner des récoltes sans l'intervention du fumier. Les rendements diminuent graduellement jusqu'à une certaine limite, celle de la fertilité *naturelle* dont on se contente dans les contrées où le sol a peu de valeur. C'est la fertilité de certains vignobles, des champs de blé des esplanades des Cordillères, où la récolte est faible en la rapportant à l'unité de la surface cultivée, considérable en la rapportant à l'unité de semence. Par le concours des engrais on pratique, en réalité, la culture intense, celle qui tend à faire rendre beaucoup à un petit espace, la plus avantageuse, sans contredit, là où le sol et la main-d'œuvre atteignent des prix élevés.

La fertilité naturelle est la preuve que dans toute terre végétale il existe des matières agissant à la manière des engrais, puisque, sur cette terre, il y pousse des plantes

contenant des substances salines analogues à celles que l'on rencontre dans les cendres de végétaux venant des cultures fumées. En Russie, dans l'Amérique du Nord, on brûle le bois des forêts pour en retirer la potasse.

L'examen que j'ai fait des terres rapportées de la vallée des Amazones, de nombreuses analyses dues à d'éminents chimistes, établissent qu'il entre dans les terres vierges, ainsi que dans les terres arables, des quantités de substances fertilisantes qu'on était loin d'y supposer. Voici quelques résultats.

Dans un hectare :

Azote appartenant à des matières organiques, herbage d'Argentan (Orne)	26000^{kg}
Acide phosphorique (moyenne) de terres arables, d'après M. Schlœsing	6500
Acide phosphorique, terres des environs de Nîmes, d'après M. de Gasparin	7125

Dans ces terres, l'acide phosphorique équivaudrait à plus de 140 quintaux de phosphate de chaux tribasique par hectare.

Potasse, terre de Cartlow (Liebig)	41000^{kg} (¹)

La terre arable de Bechelbronn, prise à peu de distance de la vigne de Lampertsloch, renfermerait par hectare :

Azote appartenant à des débris végétaux, à l'humus	7000^{kg}
Acide phosphorique	7120
Potasse soluble	2240

On est alors conduit à se demander où est la nécessité de restituer l'azote, la potasse, les phosphates prélevés par une récolte. Pourquoi se préoccuperait-on, en effet, des

(¹) C'est la potasse totale, comprenant par conséquent l'alcali insoluble engagé dans les silicates et la potasse formant des combinaisons solubles.

16 kilogrammes de potasse, des 7 kilogrammes d'acide phosphorique emportés par le vin, le marc, les sarments, quand l'hectare planté en vigne est si abondamment pourvu de phosphate et de sels alcalins ?

Une terre est toujours fertile à un certain degré. C'est par cette fertilité naturelle que se développent et vivent les graminées dans les steppes, les arbres dans les forêts, les plantes aquatiques dans les marais ; sans doute, à égalité de climat, à identité de constitution physique, il ne sort pas du sol un poids de matière organisée comparable à celui que fournit la culture intense. Dans les conditions où a lieu la végétation spontanée, l'exportation est nulle ou très-limitée. D'une exploitation forestière, on n'en tire que du bois à des intervalles assez éloignés. Les déjections du bétail restent sur la prairie. Les herbes mortes déposées au fond des étangs sont transformées en tourbe, en humus. Ainsi la terre végétale, directement ou indirectement originaire des roches cristallines, des roches volcaniques, est munie de toutes les substances minérales utiles ; avec le temps elle accroît sa fécondité en s'enrichissant sans cesse des dépouilles d'organismes provenant, en définitive, de l'atmosphère, source intarissable de carbone et de composés azotés assimilables [1].

Une étude sur la terre végétale m'a conduit à cette conclusion que tous les principes azotés qu'elle renferme sont loin d'agir avec la même énergie, avec la même promptitude. Il en est dans lesquels l'azote est engagé dans des combinaisons tellement stables, qu'il devient en quelque sorte inerte. Dans plusieurs expériences, en ensemençant une terre fort riche en humus, mais prise en faibles volumes, on reconnut que la majeure partie de l'azote ne fonctionnait pas comme engrais ; la plante ne se dévelop-

---

[1] *Agronomie, Chimie agricole et Physiologie*, 2e édit., t. I, p. 323.

pait pas plus que si elle fût venue dans du sable calciné; il fut constaté, par des analyses précises, que les $\frac{96}{100}$ de l'azote appartenant à la terre n'avaient exercé aucune action sur la végétation.

C'était là un résultat bien inattendu, facile à expliquer cependant. Le volume très-restreint de terre dans laquelle avait été déposée la graine ne contenait qu'une proportion extrêmement faible de sels ammoniacaux et de nitrates. En d'autres termes, l'azote assimilable était insuffisant : il eût fallu donner à la plante un volume de terre beaucoup plus fort, la placer dans une situation peu différente de celle qu'elle occupe dans la culture normale, pour lui assurer une dose convenable d'agents fertilisants. L'analyse avait induit en erreur, en ce sens que des agents qu'elle avait signalés ne fonctionnaient pas.

La conséquence de ces recherches, c'est que l'azote, les alcalis, les phosphates, je puis ajouter la silice, existent dans le sol à deux états. Dans l'un, ces matières sont immédiatement absorbables et, par suite, assimilables; dans l'autre elles ne le sont pas : elles peuvent le devenir avec le temps, lentement, graduellement, ainsi qu'il arrive durant les jachères, que la théorie s'est un peu trop empressée de condamner.

Des faits que je viens d'exposer sommairement il sortit une polémique des plus vives. Liebig prétendait que les sels ammoniacaux n'étaient pas nécessaires dans les engrais, par la raison que les terres, même les plus pauvres, en possédaient surabondamment; que les sels alcalins, les phosphates seuls intervenaient utilement, le sol n'en contenant que dans d'étroites limites, et que, par conséquent, il fallait les restituer intégralement aux champs; que ce n'était pas par les substances azotées que le fumier de ferme agissait, mais surtout par les sels alcalins, les phosphates.

Les agronomes n'accueillirent pas cette doctrine, qui eût

conduit à incinérer le fumier avant de le porter sur les champs; mais l'empirisme s'en empara. On fabriqua des engrais minéraux spéciaux pour telle ou telle culture; on en formulait les doses, comme s'il eût été question d'appliquer un médicament.

L'opinion de Liebig sur la richesse des terres en ammoniaque reposait sur cette interprétation que la totalité de l'azote dosé constituait de l'ammoniaque. Il est certain cependant que, dans un sol riche en matières azotées, il peut n'y avoir que fort peu d'ammoniaque *toute formée*. Ainsi, d'après un dosage brut, l'herbage d'Argentan contiendrait, par hectare, 26 000 kilogrammes d'azote, représentant 31 000 kilogrammes d'ammoniaque; or, par une analyse spéciale, on en a trouvé 300 kilogrammes seulement.

Sans doute dans l'azote total il y a bien l'élément des 31 000 kilogrammes d'ammoniaque, quoique, d'après les observations de M. Schlœsing et les miennes, les débris azotés, l'humus, sont généralement transformables en acide nitrique, en nitrates, qui manquent bien rarement dans la terre arable, par la raison que les fumures y déterminent une nitrification active.

Voici, du reste, les résultats de quelques dosages d'acide nitrique dans le sol :

	Dans 1 kilogr. de terre, nitrates exprimés en nitrate de potasse.
	gr gr
Terre de jardins..........	0,004 à 0,950
» de forêts...........	0,004 à 0,090
» de champs cultivés...	0,006 à 1,500

Les terrains issus de roches volcaniques sont, dans quelques localités, fortement nitrifiables. La plaine de Tacunga, dominée par le Cotopaxi, est une nitrière que l'on exploite avec profit; la terre, quand elle n'est pas recouverte de gazon, renferme 2 grammes et plus de salpêtre par kilo-

gramme; dans ses parties les plus ténues, elle consiste en un sable formé de particules de trachyte, de mica, de ponce, de parcelles d'humus d'un brun foncé. Les débris de roches à base d'orthose, de mica, d'oligoclase, d'albite fournissent la potasse, la soude, la chaux, la magnésie aux nitrates que l'on retire par lessivage [1].

J'ai dit que, ainsi que les substances azotées, les substances minérales sont à deux états dans le sol. S'il en était autrement, on ne comprendrait pas la nécessité, dans la culture intense, de faire intervenir des amendements alcalins, calcaires ou phosphatés là où ces matières se trouvent déjà en si fortes proportions. La terre de Cartlow, contenant par hectare, d'après l'analyse, 41 000 kilogrammes de potasse, ne devrait pas exiger d'alcali; il est évident que la plus grande partie de la potasse ne s'y rencontre pas en combinaisons solubles, mais qu'elle appartient à du feldspath, à du mica non encore altérés. La cohésion des phosphates calcaires peut aussi être un obstacle à leur dissolution; en un mot, l'analyse ne se prononce pas sur l'état physique des matières qu'elle signale, et par conséquent sur leur aptitude à l'absorption. C'est la *passivité,* tout au moins temporaire, des principes fertilisants, qui oblige le cultivateur à recourir à des amendements immédiatement actifs.

La restitution de ce que la culture enlève aux champs a lieu par les engrais, dont le type est, sans contredit, le fumier sortant des étables; dérivant du foin, il comprend tout ce qui est nécessaire à la végétation. C'est, en effet, par la prairie irriguée que la fertilité du domaine est maintenue. Les herbes qu'elle produit sont nourries avec des matières apportées et accumulées dans le sol par l'eau des sources et des rivières.

Comme engrais *complet,* il n'y a, je crois, que les

---

[1] *Agronomie, Chimie agricole et Physiologie*, 2e édit., t. IV, p. 1.

plantes marines qui soient comparables au fumier de ferme. L'origine, au reste, n'est pas sans analogie ; les *goëmons*, mélange de différentes algues, sont récoltés depuis des siècles sur les côtes de Bretagne, d'Écosse, d'Irlande. L'Océan est, après tout, une immense prairie, témoin « la mer de *Sargasses*, près du banc de Terre-Neuve, dont l'imagination de Christophe Colomb fut si vivement frappée, et que Oviedo, au XVIe siècle, nommait la prairie de Varechs. Une multitude infinie de petits animaux marins habitent ces masses toujours verdoyantes, transportées çà et là par les brises tièdes qui soufflent dans ces parages (1). »

Il y a dans l'application de l'engrais terrestre et de l'engrais marin cette différence que les fucus vont au sol sans passer par le bétail ; mais le but qu'on se propose par la fumure est toujours atteint : concentrer sur un espace de terre restreint des matières fertilisantes prélevées à de grandes distances.

La chaux, la marne, le plâtre, les coprolithes, auxiliaires de l'engrais complet, ne contiennent pas sensiblement de potasse. Les amendements alcalins sont peu nombreux. Dans le chlorure de potassium, associé au chlorure de sodium de certains gisements de sel gemme, la potasse est dans une condition peu favorable à l'assimilation. Les roches feldspathiques et micacées sont peut-être, après tout, les seuls amendements minéraux capables de fournir en abondance des alcalis au sol. Il convient d'y joindre la glauconie, silicate de fer et d'alumine tenant jusqu'à 0,07 de potasse, qu'on rencontre dans des terrains crétacés et siluriens de l'Amérique du Nord ; déjà on l'exploite comme amendement dans l'État de New-Jersey. On a reconnu que le granite, et mieux encore le feldspath qu'on en dégage,

---

(1) HUMBOLDT, *Cosmos*, t. I, p. 362.

agissent efficacement, surtout s'il a été préalablement pulvérisé. Aux environs d'Aberdeen, un granite désagrégé est épandu sur les champs à la façon de la marne. En Bretagne, on attribue les excellents effets du chaulage à la propriété qu'aurait la chaux de mettre en liberté la potasse des silicates. Dans les Alpes, dans les montagnes de la forêt Noire, on assure que les eaux coulant sur le granite sont préférables pour l'irrigation (1). Les roches cristallines, alors même qu'elles ne sont pas altérées, que leur cohésion n'est pas détruite, cèdent donc de l'alcali. Au contact prolongé de l'eau, les cristaux d'orthose, de mica abandonnent du silicate de potasse; les cristaux d'oligoclase, du silicate de soude. Toutefois, l'action dissolvante est infiniment plus prononcée sur les minerais porphyrisés. C'est ce qui résulte d'une expérience fort intéressante que l'on doit à M. Daubrée. En voici le résumé :

3 kilogrammes d'orthose en fragments angulaires furent mis, avec 5 litres d'eau, dans un cylindre que l'on fit tourner pendant cent quatre-vingt-douze heures. On estime que, par la vitesse de rotation, chaque fragment avait parcouru 460 kilomètres.

On obtint, par l'effet du frottement, $2^{kg},72$ d'un limon extrêmement ténu, et l'eau dans laquelle la trituration avait eu lieu renfermait $12^{gr},6$ de potasse. Par une action purement mécanique, semblable à celle qui est exercée sur les blocs de roches, sur les galets entraînés chaque jour par les torrents, par les fleuves, l'alcali dégagé du feldspath était devenu apte à entrer immédiatement dans l'organisme des végétaux (2).

Les roches volcaniques sont alcalifères au même degré que les granites, les gneiss, les micaschistes, les syénites; il s'y

---

(1) *Enquête sur les engrais industriels;* 1865.

(2) Daubrée, *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. XLIX, p. 997, et *Annales des Mines*, 5e série, t. XII, p. 535.

trouve aussi, en proportions notables, de l'acide phosphorique. Les trachytes, les basaltes, les laves, les rapillis, sont par conséquent des amendements alcalins, phosphatés, ayant sur les roches de la série granitique l'avantage d'être plus aisément réduits en poudre. Parmi les trachytes, il en est dont la richesse en silicates alcalins est exceptionnelle : telle est la domite, dont la pâte à base d'orthose est parsemée de mica. Ces roches sont de précieux agents de fertilité; on doit les considérer comme des minerais d'alcalis, et il est vraisemblable que le jour n'est pas éloigné où l'on en retirera de la potasse pour les besoins de l'agriculture et de l'industrie [1].

---

[1] M. Daubrée rapporte que, dans la Bavière rhénane, où la culture de la vigne est l'objet de soins assidus, le basalte altéré extrait des carrières de Forst est employé pour amender les vignobles de Deidesheim, produisant un des vins les plus estimés du Palatinat.

ÉTUDES

SUR

LA TERRE VÉGÉTALE;

PAR M. TH. SCHLOESING.

La terre végétale a été l'objet des recherches les plus variées, les plus instructives, et nous commençons à la connaître. On s'est rendu compte de sa formation : la plupart de ses propriétés ont été distinguées, quelquefois mesurées; les unes, du ressort de la Physique, se montrent dans ses rapports avec la pesanteur, l'eau, l'humidité de l'air, la chaleur; les autres sont plus spécialement chimiques, comme celles d'absorber et de retenir les principes fertilisants, de produire de l'acide carbonique, des nitrates, propriétés qui en font à la fois l'atelier de préparation et le magasin des substances minérales nécessaires aux végétaux. Ses relations avec les engrais et les racines des plantes ont été définies, et nous avons des idées rationnelles sur la diffusion des engrais dans le sol, sur le mécanisme de leur absorption par les racines. Aussi, quand nous mettons les notions que nous possédons aujourd'hui en regard des opinions sur la terre végétale qui avaient cours au siècle dernier, nous constatons un immense progrès, accompli surtout par l'application de l'analyse chimique. Mais lorsque, au lieu de comparer le présent au passé, nous faisons le compte de ce que nous savons et de ce qu'il nous faudrait savoir, nous sommes obligés de reconnaître que la terre végétale est encore et sera longtemps un des sujets de recherches les plus féconds. Sans énumérer les questions qui attendent une solution, il suffit, pour

nous en convaincre, de rappeler que nous ne savons pas discerner, dans une terre, les principes nutritifs immédiatement assimilables de ceux qui ne le sont pas, et qu'ainsi nous échappe la question si importante de la mesure de la fertilité : la constitution même de la terre végétale nous est à peine connue; nous disons qu'elle consiste en un simple mélange de sables divers, de calcaire, d'argile, de matière organique ou humus : mais qui dira ce que c'est que l'argile ou l'humus ? Ces deux expressions reviennent si souvent dans les écrits agricoles, qu'on finit par oublier l'ignorance des chimistes sur les matières qu'elles désignent.

On doit donc s'attendre à rencontrer des observations nouvelles, en étudiant quelques-unes des nombreuses questions qui se rapportent à la terre végétale : c'est avec cette conviction que j'ai entrepris depuis plusieurs années diverses recherches que je me décide à publier.

De l'influence des sels contenus dans la terre végétale sur l'ameublissement.

Dans le cours d'expériences ayant pour objet de déplacer par des lavages appropriés et de recueillir la dissolution qui existe dans la terre végétale humide, j'ai souvent observé que le liquide obtenu, toujours limpide pendant une première période de l'opération, passait trouble et chargé de matières limoneuses, quand le lavage était assez prolongé. Au contraire, lorsque je faisais circuler constamment à travers la terre de l'air contenant quelques centièmes d'acide carbonique, j'obtenais indéfiniment des liquides parfaitement clairs. L'effet principal de l'acide carbonique était d'entretenir dans la dissolution une certaine proportion de bicarbonate de chaux ; je pensai donc qu'il y avait quelque rapport entre la limpidité des eaux et

la présence de ce sel, et je fus conduit à expérimenter l'action de diverses substances salines sur les limons que la terre végétale abandonne à l'eau.

J'exposerai d'abord les faits très-simples que cette recherche a mis en évidence : j'en déduirai ensuite quelques conséquences intéressantes.

Après avoir lavé avec de l'eau pure de la terre végétale placée sur un filtre, afin d'en éliminer les matières solubles, on la délaye dans l'eau distillée, et on laisse reposer. Quand les éléments sableux se sont rassemblés au fond du vase, le liquide, qui contient encore d'autres éléments qu'on a l'habitude d'appeler *argile*, est décanté et abandonné à un long repos. Du sable de plus en plus fin continue à se déposer ; mais le liquide demeure trouble : il retient obstinément du limon et le conserve en suspension, pour ainsi dire indéfiniment. L'intensité du trouble dépend naturellement de la quantité d'argile contenue dans la terre.

La suspension prolongée des limons ne se produit plus, lorsqu'on délaye la terre dans de l'eau commune tenant en dissolution certaines doses de sels, comme l'eau de Seine, par exemple : on ne l'obtient certainement qu'en employant l'eau distillée.

Mais vient-on à verser et à mêler par l'agitation quelques gouttes d'un sel calcaire ou magnésien dans de l'eau pure chargée de limon, dès que le mouvement a cessé, le limon, jusque-là disséminé dans tout le liquide, semble subir une véritable coagulation ; il se réunit en flocons très-apparents, et tombe au fond du vase ; l'eau s'éclaircit ou s'éclaircira bientôt tout à fait. Le temps nécessaire pour la formation du dépôt et la clarification de l'eau varie selon la quantité de limon en suspension : s'il y en a beaucoup, les flocons forment comme un réseau serré qui agit, en descendant, comme un vrai filtre, et laisse au-dessus de lui un liquide limpide ; s'il y en a peu, la coagulation

n'est plus aussi évidente ; il arrive même, quand l'eau est très-peu limoneuse, qu'on ne voit plus de flocons ; mais le fait capital, la précipitation du limon se produit toujours, non plus immédiatement, mais après un intervalle de temps variable de quelques heures à quelques jours.

Les argiles diverses, dites *plastiques, smectiques,* présentent la même propriété que les limons des terres arables, quand elles ont été purifiées au moyen de lavages convenables avec des acides et des alcalis en dissolution étendue.

Bien que la dose du sel calcaire ou magnésien suffisante pour produire la coagulation soit très-petite, il ne faudrait pas croire qu'elle puisse décroître indéfiniment, et qu'une *trace* de sel soit capable de précipiter les limons. Il y a pour chaque sel, et probablement aussi pour chaque sorte de limon, une dose minima, au-dessous de laquelle la coagulation paraît ne plus avoir lieu. Plus la dose employée s'approche de cette limite, tout en restant au-dessus, plus il faut de temps pour que la précipitation du limon et la clarification du liquide soient complètes. Voici des chiffres destinés seulement à donner une idée des effets de quelques doses.

Une quantité de chlorure de calcium, de sulfate ou de nitrate de chaux représentant $\frac{2}{10000}$ de chaux réelle pour 1 de liquide limoneux, produit immédiatement la coagulation, pourvu, bien entendu, que la quantité de limon soit suffisante pour l'apparition du phénomène.

La quantité de chaux réelle étant de $\frac{1}{10000}$, comme dans l'eau de Seine, qui en renferme environ 100 milligrammes par litre, la coagulation se produit encore très-visiblement ; si l'eau est peu limoneuse, la clarification exige deux à trois jours.

La dose de $\frac{5}{100000}$, soit 50 milligrammes de chaux réelle par litre, m'a paru inefficace ; du moins, elle n'a pas

éclairci l'eau limoneuse en six semaines : mais je ne puis dire qu'elle n'aurait pas fini par précipiter tout le limon au bout d'un temps considérable. Je ne saurais assez répéter que la dose limite varie avec la nature du sel, le temps, l'espèce, et peut-être la quantité du limon, et qu'en pareille matière les chiffres peuvent bien s'appliquer à un cas particulier, mais n'ont pas de valeur absolue.

Les divers sels calcaires et la chaux caustique sont les précipitants les plus actifs; les sels magnésiens les suivent de près s'ils ne les égalent; ceux de potasse sont moins efficaces, ceux de soude et d'ammoniaque le sont encore moins.

Les acides sulfurique, chlorhydrique, nitrique, possèdent également la propriété de coaguler les limons. Quand ceux-ci contiennent du carbonate de chaux ou de magnésie, ce qui arrive le plus souvent, on peut attribuer l'effet des acides à la formation d'un sel calcaire ou magnésien ; mais il est facile de se convaincre que les acides ont réellement une action propre : il suffit de traiter d'avance les limons ou argiles par un acide, et de les laver, pour éliminer tout sel soluble; on les met ensuite en suspension dans l'eau distillée : on peut constater alors qu'ils sont coagulables par des doses d'acide extrêmement faibles.

Les alcalis employés à petite dose ont une propriété absolument contraire : loin de coaguler les limons, ils facilitent leur suspension. Toutefois, la potasse et la soude agissent comme précipitants, lorsque leur dose dépasse certaines limites. Je reviendrai, dans un autre travail, sur ce mode d'action des alcalis, dont j'ai fait un moyen précieux d'analyse.

On sait combien est lente la filtration des eaux limoneuses à travers le papier : d'abord elles passent troubles, elles ne filtrent limpides qu'après l'engorgement des pores

du papier par le limon ; mais alors le filtre est devenu presque imperméable. Ces inconvénients disparaissent quand le limon a été coagulé par un sel ou un acide : seulement, lorsqu'on le lave à l'eau distillée, il vient un moment où la filtration est retardée, puis presque arrêtée : c'est qu'alors le limon, débarrassé de sels ou d'acides, n'est plus retenu dans cet état d'agrégation qui ressemble à une coagulation, et il abandonne à l'eau des particules qui traversent le filtre, puis l'engorgent.

J'ai constaté, en effet, bien des fois qu'un limon peut successivement être coagulé, reprendre la faculté de rester en suspension, après l'élimination de l'agent *coagulateur*, être coagulé de nouveau par le même agent, et ainsi de suite, indéfiniment.

On ne me demandera pas d'expliquer les effets produits sur les limons par les dissolutions salines : je ne puis que signaler leur analogie avec la coagulation, par des agents salins, de la silice, de l'alumine colloïdales, et d'autres substances appartenant à la même classe. Graham rapporte, à ce sujet, que l'alumine soluble est une substance tellement instable, qu'elle ne peut être transvasée d'un verre dans un autre sans se prendre en gelée, à moins que les verres n'aient été lavés à plusieurs reprises avec de l'eau distillée. Au reste, tous les chimistes ont observé que certains précipités traversent les filtres quand ils n'ont pas été agrégés par un repos suffisant, ou quand le réactif précipitant fait défaut, ou bien lorsque les lavages ont éliminé les sels solubles : ces faits sont encore analogues à ceux que nous présentent les limons : les uns et les autres doivent procéder des mêmes causes.

J'entrerai maintenant dans quelques considérations sur des phénomènes qui sont en relation étroite avec ceux que je viens de rapporter. Si l'on veut bien se rappeler que les

limons interviennent dans des phénomènes d'un grand intérêt, tels, par exemple, que la destruction et l'entraînement de la terre végétale, la formation de terrains récents et anciens, la clarification des eaux courantes employées comme eaux potables, j'espère qu'on ne m'accusera pas d'exagérer les conséquences de quelques observations très-élémentaires.

J'émiette entre les doigts une terre végétale humide : cette opération la met dans un état d'ameublissement presque parfait. Je la verse ensuite dans une grande allonge verticale, au fond de laquelle ont été placés des débris de verre ou de porcelaine recouverts de gros sable, et je l'arrose d'eau distillée débitée goutte à goutte et continuellement : à mesure que l'eau distillée pénètre dans la terre, elle chasse devant elle la dissolution saline de nitrates, sulfates, chlorures, bicarbonates de diverses bases dont cette terre était imbibée au début de l'expérience. Aussi je constate que les particules qui occupent le haut de l'allonge et baignent dans l'eau distillée se détruisent peu à peu et finissent par former une pâte, pendant que, dans le bas de l'allonge, les particules, tout aussi inondées et même plus pressées, mais en contact avec une dissolution saline, résistent au délayage et ne subissent aucune déformation.

Je répète cette expérience avec un deuxième lot de la même terre, dans des conditions identiques ; seulement l'eau distillée est remplacée par de l'eau commune ; je n'observe plus aucun changement dans la disposition des particules ; le lavage peut être prolongé indéfiniment sans que l'état d'ameublissement de la terre en souffre en aucune façon.

Les différences entre les résultats de ces deux expériences s'expliquent bien simplement : l'argile est un ciment pour les éléments sableux de la terre ; elle les relie et

leur donne de la consistance. Tant qu'elle demeure coagulée par les sels de la terre, elle conserve cette précieuse propriété ; mais, si elle est lavée par de l'eau pure et privée des agents de la coagulation, elle perd, au moins en partie, l'état d'agrégation qui en faisait un ciment ; chaque particule est alors un petit édifice qui s'écroule, l'ameublissement disparaît, la terre devient une pâte.

Toutes les terres ne se prêtent pas également bien à ces expériences, il en est qui contiennent en assez grande quantité un autre ciment différent de l'argile, et dont je m'occuperai bientôt ; leurs particules, constituées plus solidement, peuvent résister à l'eau distillée. Mais un grand nombre de sols ne sont pas aussi favorisés : la pluie, eau distillée de l'atmosphère, doit donc réaliser dans les champs, sur une immense échelle, les phénomènes que nous venons d'étudier dans une allonge.

Mais il existe, heureusement, entre les conditions des phénomènes naturels et celles de notre expérience, des différences sur lesquelles nous devons nous arrêter un moment. Dans notre expérience, quoique l'eau soit débitée lentement, il en passe en quelques heures une quantité qui représente, eu égard à la section de l'allonge, une colonne d'eau de 25 à 40 centimètres ; c'est une hauteur de pluie énorme. Si nous pouvions modérer le débit de manière à imiter plus fidèlement les chutes ordinaires de pluie, les écroulements des particules seraient bien moins nombreux ; ils n'auraient même plus lieu du tout si le débit était assez lent ; ce n'est pas que l'eau ait une action mécanique sensible sur les particules, par sa vitesse propre de circulation : c'est une action chimique qui intervient ici. Parmi les sels dissous dans la terre végétale, celui qui est de beaucoup le plus abondant, le bicarbonate de chaux, a la propriété de se reproduire sans cesse ; l'acide carbonique libre provenant de la combustion du terreau rencontre le car-

bonate de chaux qui fait partie des éléments du sol, ou bien qui est apporté dans les terres non calcaires par les engrais, le chaulage, le marnage. De là résulte une dissolution contenant d'autant plus de bicarbonate que l'acide carbonique est plus abondant dans l'atmosphère du sol; elle est presque toujours assez riche pour coaguler les limons. Or cette dissolution ne se produit qu'avec une certaine lenteur ; si le lavage de la terre est trop rapide, la quantité de bicarbonate formée dans un temps donné est trop faible pour la quantité d'eau qui passe dans ce même temps; la terre se trouve en présence d'une dissolution trop étendue incapable de coaguler l'argile; celle-ci se délaye donc, et les particules s'écroulent : c'est ce qui arrive dans notre expérience. Au contraire, quand le lavage est très-lent, la dissolution atteint et dépasse la dose minima de coagulation ; car la même quantité de bicarbonate que nous considérions à l'instant se dissout dans une quantité bien moindre d'eau : alors l'argile demeure coagulée, et les particules conservent leur solidité. C'est ce qui a lieu presque toujours pour la terre végétale en temps de pluie; son lavage est d'une lenteur extrême. D'ailleurs les pluies sont coupées par des interruptions pendant lesquelles l'eau nouvellement absorbée peut compléter sa provision de bicarbonate. Enfin l'évaporation recommence après chaque chute d'eau, et rappelle vers la surface, comme l'a fait remarquer M. Isidore Pierre, les sels entraînés dans le sol.

Lorsque la pluie tombe avec violence, nous voyons paraître un nouveau moyen de préservation : sous le choc de l'eau, la surface du sol se désagrége, et les champs se couvrent d'une couche de pâte fort peu perméable, en sorte que les couches de terre sous-jacentes demeurent dans le cas des pluies modérées. C'est ainsi que la terre végétale trouve sans cesse, dans les sels qu'elle produit elle-même, ou qu'on lui donne avec les engrais, des agents qui com-

battent les effets physiques de la pluie et prolongent la durée de son ameublissement.

La coagulation des limons par les dissolutions salines très-étendues explique une autre propriété fort intéressante de la terre végétale, celle d'agir à l'égard des eaux troubles comme un filtre parfait.

Supposons un instant que la terre soit dépourvue de sels, et que la pluie qui la traverse en sorte eau distillée, comme elle y est entrée. Loin de retenir le limon délayé à la surface par les eaux pluviales, la terre leur en céderait au contraire sur tout leur trajet, ainsi que le montre l'expérience rappelée au début de ces recherches; il en résulterait que toutes les eaux qui drainent le sol, se réunissent dans les sources et coulent dans les rivières seraient plus ou moins souillées de limon. Quant à la terre végétale, elle subirait une lente dissociation; son argile entraînée irait à la mer; il nous resterait un mélange de calcaire et de sable.

Des exemples d'une telle séparation doivent s'être produits dans le cours des temps géologiques; pour les admettre, il suffit de concevoir que des mélanges d'argile et de sable aient été exposés au lavage par les eaux pluviales. La présence du calcaire n'aura pas préservé l'argile de l'entraînement, si le lavage a eu lieu avant que la végétation, source des débris qui fournissent l'acide carbonique et par suite le bicarbonate de chaux, se soit emparée du terrain.

Restituons maintenant à la terre ses éléments salins. Nous venons de voir que l'eau de pluie y est changée en une dissolution capable de coaguler les limons. Dès lors elle ne peut plus délayer l'argile qu'elle rencontre; elle ne peut pas davantage l'entraîner mécaniquement; son mouvement est beaucoup trop lent pour produire des effets pareils à ceux que nous montre la surface du sol quand elle est battue et ravinée par les pluies. Elle se dépouille au contraire du limon qu'elle a pu enlever à la surface; c'est le résultat des attractions que les agents coagulateurs déve-

loppent entre les molécules limoneuses : l'argile délayée de la surface se fixe, se *colle* sur l'argile de l'intérieur.

Ainsi l'on peut dire que c'est à la présence de quelques sels, surtout des sels calcaires, que la terre végétale doit sa permanence; c'est encore à eux que les eaux de drainage et la plupart des sources doivent leur parfaite limpidité. Quand ils font défaut, les eaux, une fois souillées de limon, ne le déposent plus. Je n'en citerai qu'une preuve : c'est la persistance des troubles dans les eaux qui sortent des glaciers.

Ces eaux ne se dépouillent de leur limon qu'après s'être mélangées avec celles d'affluents qui leur apportent les sels calcaires dont elles sont privées. Il ne suffit pas, comme on l'a cru jusqu'ici, sans se rendre bien compte des phénomènes, qu'elles se reposent dans de grands bassins naturels, comme par exemple le Rhône dans le lac de Genève; il faut encore qu'elles y trouvent des précipitants convenables. Il serait très-intéressant de comparer à ce point de vue la composition des eaux à leur entrée et à leur sortie de ces bassins, ou encore celles de divers lacs dont les eaux présentent des couleurs très-différentes.

Les éléments de ces comparaisons me font défaut. Je trouve seulement dans le Mémoire classique de M. H. Sainte-Claire Deville sur les eaux potables l'analyse des eaux du Rhône prises à Genève, c'est-à-dire en un lieu où elles possèdent encore la composition de celles du lac. Faisant abstraction des sels alcalins, j'y vois que l'eau du Rhône contient, pour 10 litres :

		Chaux.	Magnésie.
	mg	mg	mg
Carbonate de chaux . .	789	442	»
Carbonate de magnésie	49	»	23,6
Sulfate de chaux.	466	192	»
Sulfate de magnésie. . .	63	»	21,2
		634	44,8

Soit pour 1 litre :

	mg
Chaux.	63,4
Magnésie.	4,5

Ces deux bases, joignant leurs effets, précipitent les limons du Rhône à son arrivée; c'est à elles que le lac de Genève doit vraisemblablement son admirable limpidité.

Je dois ici aller au-devant d'une objection : le lac est alimenté principalement par le Rhône : comment aurait-il une dose suffisante de sels, si le fleuve ne la possédait pas d'avance. Si les sels des eaux consistaient seulement en sulfates, chlorures et nitrates, il serait difficile de répondre : mais le sel dominant y est encore comme dans les sols le bicarbonate de chaux; or on peut parfaitement admettre qu'il se produit, en partie, dans le lac même, à la faveur de l'acide carbonique aérien et du carbonate de chaux, qui existe en poudre impalpable dans les limons. Bineau a montré depuis longtemps que l'eau pure dans laquelle on a délayé une petite quantité de carbonate de chaux se charge après vingt-quatre heures de contact avec l'air d'une quantité de bicarbonate représentant environ 60 milligrammes de carbonate de chaux neutre par litre. Depuis, j'ai précisé les observations de Bineau, et j'ai fait connaître la loi suivant laquelle le bicarbonate de chaux, produit en présence de l'acide carbonique, varie en fonction de la tension de ce gaz : il résulte de cette loi qu'à la température ordinaire, en présence de l'atmosphère, l'eau peut former assez de bicarbonate pour contenir l'équivalent de 76 milligrammes de carbonate neutre par litre; qu'elle reçoive en sus, comme appoint, de très-petites quantités d'autres sels calcaires apportés par les rivières, et elle atteindra la dose efficace pour la précipitation des limons. Il est bien remarquable que l'analyse des eaux du lac de Genève donne $78^{mg},9$ de carbonate de chaux, comme si les eaux du Rhône s'étaient saturées de bicarbonate pendant leur repos.

Le Mémoire de M. H. Sainte-Claire Deville fournit sur les eaux de nos grands fleuves des renseignements pleins d'intérêt au point de vue de la précipitation des limons.

En calculant, d'après les analyses, les quantités de chaux et de magnésie qu'elles renferment, je trouve les nombres suivants rapportés à 1 litre :

	Garonne.	Seine.	Rhin.	Loire.	Rhône.
	mg	mg	mg	mg	mg
Chaux...	36,1	104,0	82,0	27,0	63,4
Magnésie.	1,6	1,3	2,4	2,9	4,5

Les eaux de la Seine, en première ligne, puis celles du Rhin doivent déposer leurs limons en quelques jours; il est probable qu'il faut plus de temps aux eaux du Rhône, et je doute fort que les eaux de la Garonne et de la Loire deviennent limpides après un long repos.

Le séjour des eaux limoneuses, soit dans les lacs, soit à la surface du sol pendant les grands débordements, est une condition de clarification nécessaire, mais rarement réalisée : la masse des limons arrachés à la terre végétale va donc à la mer. La question des atterrissements formés aux embouchures des fleuves a été traitée, dans des leçons célèbres, par M. Élie de Beaumont : elle paraît épuisée. Cependant on me permettra une seule observation, qui se rapporte à la fois aux atterrissements et à mon sujet : c'est que les sels de la mer précipitent rapidement les limons des fleuves, et activent ainsi leur dépôt dans le voisinage des embouchures. Leur dose élevée explique d'ailleurs surabondamment la limpidité parfaite des eaux marines et leur rapide clarification, lorsqu'elles ont été souillées de vase le long des côtes par l'agitation des flots.

Je reviens à la question des troubles des rivières. Ce que j'en ai dit doit intéresser les ingénieurs chargés de pourvoir les villes d'eaux potables. La recommandation de M. Belgrand de choisir de préférence les eaux de sources, constamment fraîches et limpides, ne peut pas toujours être suivie. Dans le cas où il faut puiser aux rivières, l'analyse des eaux, faite au point de vue de la précipitation des li-

mons, doit fournir des éléments très-utiles de discussion. Je prendrai comme exemple les eaux de la Durance, conduites jusqu'à Marseille par l'éminent ingénieur de Montricher. Pendant plusieurs années, les eaux distribuées ont été extrêmement limoneuses, malgré leur séjour dans plusieurs bassins de dépôt. Cela ne doit plus étonner maintenant. La Durance a un débit très-inégal, comme les rivières qui descendent des montagnes; ses crues sont produites principalement par de grands apports d'eaux superficielles qui, n'ayant pas pénétré dans la terre arable, ne sont pas chargées de bicarbonate de chaux : en même temps apparaissent les limons. Ainsi les troubles surviennent précisément quand les eaux ont perdu la propriété de les précipiter. On comprend sans peine que les bassins de dépôt établis en prévision d'une prompte précipitation des limons aient été insuffisants. Depuis, un immense lac artificiel a été créé ; c'est un réservoir dans lequel un temps considérable est donné à la formation des dépôts, et où se produit probablement du bicarbonate calcaire; une grande amélioration a été réalisée par ce moyen. Il est probable qu'en diverses localités les eaux potables empruntées à des rivières, qui ne présenteraient pas la dose voulue de chaux, pourraient être amendées par leur mélange avec des eaux de source fortement calcaires, ce qui leur permettrait de se dépouiller du limon dans un court espace de temps.

De l'influence du terreau sur l'ameublissement du sol.

La terre ameublie, c'est-à-dire divisée en particules laissant entre elles des interstices pour la circulation de l'air et de l'eau, ne pourrait conserver cet état si les débris minéraux dont elle se compose n'étaient agglomérés par des substances remplissant la fonction d'un ciment. L'argile est considérée comme le ciment de la terre végétale ; on vient de voir qu'elle y demeure coagulée par les sels solubles,

surtout par les sels calcaires, et que la présence de ces composés est une condition du maintien de l'ameublissement. L'argile est-elle seule chargée de cimenter les particules du sol ? N'y a-t-il pas quelque autre matière qui partage ce rôle avec elle ? Telle est la question que je vais examiner.

Pour cimenter convenablement les éléments sableux, l'argile doit atteindre une proportion minima, au-dessous de laquelle son action devient inefficace. Il ne suffit pas, remarquons-le bien, que le mélange soit cohérent à l'état sec : il faut qu'il demeure tel à l'état humide, et même quand il est noyé, ainsi qu'il arrive aux particules de terre végétale. C'est une condition qui doit élever la dose d'argile nécessaire et suffisante.

Cette dose peut être déterminée par des expériences très-simples. On débarrasse une terre végétale de l'argile et des débris organiques en la soumettant à la lévigation ; il reste un mélange de sables divers que l'on calcine au rouge sombre pour détruire tout reste de ciment. D'autre part, on purifie également par lévigation l'argile que l'on veut éprouver ; on la conserve à l'état d'une pâte homogène dont on détermine l'humidité, afin d'en pouvoir calculer les quantités correspondant à des poids demandés d'argile sèche.

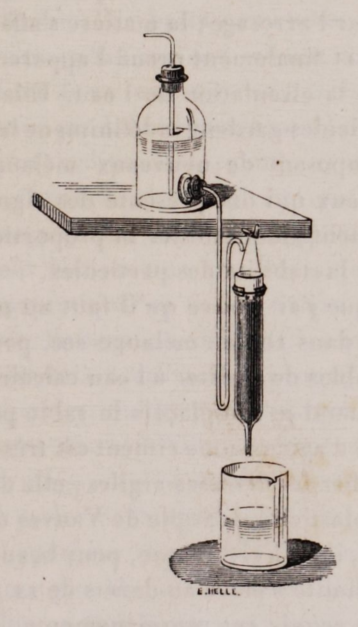
On compose ensuite une série de mélanges de sable et d'argile, tels que les suivants :

Argile......	1	5	10	15	20
Sable......	99	95	90	85	80
	100	100	100	100	100

Les deux éléments d'un mélange sont humectés, pétris, corroyés, puis mis à sécher à l'air, jusqu'à ce qu'ils soient assez ressuyés pour être émiettés sous les doigts : ainsi divisée en particules, la matière est introduite et légèrement tassée dans un large tube vertical, dont le fond étiré a été garni de débris de verre et de gros sable. Elle

est ensuite arrosée pendant trois ou quatre jours, avec de l'eau débitée goutte à goutte, très-lentement. Du coton humide doit couvrir la surface du mélange, et la garantir du choc des gouttes d'eau. Il ne faudrait pas employer ici de l'eau distillée ; il s'agit d'étudier l'argile à l'état qu'elle affecte dans la terre arable ; l'eau qui traverse le tube doit donc contenir deux à trois dix-millièmes de sels calcaires, dose bien suffisante pour produire et maintenir la coagulation.

Quand un liquide doit être débité très-lentement et



longtemps, un robinet ne peut plus régler l'écoulement avec certitude. Son orifice n'est plus alors qu'une fente très-étroite, qui arrête les moindres corpuscules et change fréquemment de débit. En pareil cas, j'ai depuis longtemps l'habitude de remplacer les robinets par de longs tubes capillaires adaptés à la tubulure inférieure d'un

flacon de Mariotte, ainsi que le représente la figure. Le frottement du liquide dans le tube retarde tellement le débit qu'il faut une pression de plusieurs centimètres d'eau pour obtenir quelques gouttes dans une minute : on a donc toute la marge nécessaire pour régler l'écoulement en abaissant ou élevant le tube droit du flacon. D'ailleurs la section du tube capillaire, d'environ 1 millimètre, laisse passer facilement les poussières du liquide.

Les signes d'après lesquels on juge si la proportion d'argile est suffisante sont très-nets. Cette proportion est trop faible quand la forme et la disposition des particules sont altérées par l'arrosage; la matière s'affaisse, tapisse la paroi du tube, et finalement prend l'apparence d'une pâte qui intercepte la circulation de l'eau. Elle est suffisante quand les particules gardent indéfiniment leur aspect primitif. En composant de nouveaux mélanges, intermédiaires entre ceux qui ont présenté des signes contraires, on arrive aisément à déterminer la proportion limite d'argile qui assure la stabilité des particules.

C'est ainsi que j'ai trouvé qu'il faut au moins 11 d'argile de Vanves dans 100 de mélange sec, pour obtenir des particules capables de résister à l'eau calcaire. Il en fallait un peu plus quand je remplaçais le sable par de la craie.

La propriété d'agir comme ciment est très-variable, sans aucun doute, chez les diverses argiles; elle doit être en relation avec la plasticité. L'argile de Vanves étant éminemment plastique, il est à croire que, pour beaucoup d'autres, la proportion limite s'élève au-dessus de 11 pour 100.

Après avoir acquis ces renseignements, je devais soumettre des terres végétales peu argileuses aux mêmes épreuves que les simples mélanges de sable et d'argile, afin de voir si elles présentaient des différences quant à la proportion limite du ciment. Les terres choisies pour ces nouveaux essais contenaient de 5 à 10 pour 100 d'argile. Toutes se sont parfaitement comportées ; leurs particules

n'ont souffert en rien du lavage prolongé à l'eau calcaire.

Une telle résistance eût été impossible, si l'argile était le seul ciment de la terre végétale ; d'où j'ai conclu, naturellement, qu'à côté d'elle une autre matière peut suppléer à son insuffisance.

Sur ce point, l'expérience suivante est très-instructive.

Me proposant de compléter l'analyse d'une terre non calcaire en déterminant la quantité d'acides bruns dits *humiques* que j'en pourrais extraire, j'avais émietté 500 grammes de cette terre dans une allonge, et les avais lavés longtemps avec de l'acide chlorhydrique faible ; je voulais ainsi éliminer les bases combinées aux acides humiques, et préparer ceux-ci à se dissoudre dans de l'eau légèrement alcaline. Je ne remarquai aucun changement dans l'aspect de la terre pendant le lavage avec l'acide ; mais, dès que la dissolution alcaline, versée goutte à goutte comme l'avait été l'acide, fut en contact avec les particules de la terre, je les vis se désagréger au sein d'une liqueur brune ; leurs débris formèrent bientôt une couche imperméable, et je dus renoncer à pratiquer de la sorte mon attaque par un alcali. Ainsi la destruction des particules marchait de pair avec la dissolution des acides bruns : je pensai dès lors que les humates, substances appartenant sans aucun doute à la classe des colloïdes, possédaient la propriété commune à ces corps, et d'où Graham a tiré leur nom, de fonctionner à petite dose comme ciment, en un mot de coller. Cette hypothèse concordait avec ce fait, constaté depuis longtemps par M. Chevreul, que l'alios des Landes consiste en sable agglutiné par une matière brune, d'origine organique, et produite par la décomposition des végétaux ; elle expliquait encore l'opinion très-répandue qui attribue au terreau la propriété de donner du corps aux terres trop légères ; mais il était nécessaire de la vérifier par des essais synthétiques : je vais exposer ceux que j'ai exécutés.

Pour savoir si les humates peuvent réellement *coller* des poudres minérales dénuées de cohésion, il suffirait de délayer de petites quantités de ces colloïdes avec du sable, de la craie, de l'argile, en proportions variées ; on laissait sécher ces mélanges jusqu'à ce qu'on pût les émietter, puis on les introduisait dans des tubes, et on les soumettait à l'épreuve par l'eau calcaire. C'était la répétition des expériences sur les mélanges de sable et d'argile, faites dans le même but de voir si les particules résisteraient à l'eau.

Pour extraire de la terre végétale une certaine quantité d'acides bruns, il convient d'opérer sur 2 ou 3 kilogrammes. Il ne faudrait pas chercher à les dissoudre immédiatement dans une liqueur alcaline, comme le conseillent les Traités de Chimie agricole. Ces acides, combinés à de la chaux, de l'alumine, de l'oxyde de fer, sont à l'état d'humates fort peu solubles dans les alcalis. Il faut d'abord en éliminer les bases, au moins en partie, et pour cela traiter la terre par l'acide chlorhydrique versé à diverses reprises, jusqu'à ce que, tout le calcaire étant décomposé, la liqueur reste très-sensiblement acide. La matière est alors jetée sur une toile recouverte de papier à filtre, et lavée avec de l'eau distillée. On l'introduit ensuite dans un flacon d'une trentaine de litres, et on l'agite avec une dissolution faible de potasse, de soude ou d'ammoniaque. Après avoir laissé digérer pendant quelques heures, on remplit le flacon d'eau distillée, on agite et on laisse reposer. Le sable se précipite, mais l'argile demeure en suspension au sein d'une liqueur brune. Celle-ci étant décantée dans un second flacon, il s'agit de séparer l'argile de l'humate dissous. On y arrive par la coagulation de l'argile ; mais il faut bien se garder d'employer quelque sel calcaire, magnésien ou autre, capable de former, par double échange, des humates insolubles : on précipiterait tout à la fois. On se servira de chlorure de potassium, de sodium ou d'ammonium, employés à la dose de 2 à 5 grammes par litre.

Dans cette opération, on perd toujours une partie très-notable des humates, que l'argile coagulée entraîne avec elle. Le dépôt se forme très-lentement, et ce n'est qu'après vingt-quatre ou quarante-huit heures qu'il convient de décanter la liqueur toujours brune, mais limpide, dans une grande terrine. On la neutralise alors, en y versant avec précaution de l'acide chlorhydrique, jusqu'à ce qu'il se forme un peu de précipité; puis on ajoute une dissolution étendue d'un sel de chaux, d'alumine ou de peroxyde de fer, selon la base qu'on veut combiner à l'acide humique. Finalement le précipité est filtré, lavé, ressuyé jusqu'à ce qu'on en puisse faire une pâte ferme, homogène, que l'on conserve dans un flacon bouché, en attendant de s'en servir pour composer des terres artificielles.

Il est nécessaire de déterminer la portion d'acides bruns que cette pâte renferme; on en prend donc un poids déterminé de 5 à 10 grammes, qu'on sèche à 120 degrés, puis on brûle le résidu, et l'on déduit simplement le poids de matière organique de la différence entre le poids du résidu et celui des cendres, sans tenir compte de l'acide carbonique que celles-ci ont pu retenir : la détermination ainsi faite n'est qu'approchée, mais suffisante pour le genre d'expériences qu'il reste à exécuter.

L'extraction des humates du terreau de jardinier se fait de la même manière; elle est un peu plus simple, parce qu'on est dispensé de la séparation de l'argile.

J'ai composé d'abord des mélanges ne contenant que du calcaire, du sable extrait d'une terre végétale et de l'humate de chaux; le ciment argile en était exclu.

Série A.

	I.	II.	III.	IV.
Sable	99	82,5	66	0
Calcaire	0	16,5	33	99
Matière organique de l'humate	1	1	1	1
	100	100	100	100

Ces quatre mélanges, émiettés à l'état humide et placés dans des tubes, ainsi que je l'ai dit, ont parfaitement résisté, non-seulement à l'eau calcaire, mais encore à l'eau distillée.

On sait que l'eau seule peut bien cimenter passagèrement des grains de sable ou de calcaire, quand elle ne fait que les humecter; mais les particules ainsi constituées s'affaissent aussitôt qu'elles sont arrosées. C'était donc bien certainement l'humate qni cimentait le sable et le calcaire de mes mélanges : 1 pour 100 de cette matière organique seulement a produit au moins autant d'effet que 11 d'argile de Vanves.

Modelés en forme de petits cylindres ou de boulettes, et mis à sécher, ces mêmes mélanges ont acquis assez de dureté pour pouvoir être projetés sur le carreau sans se briser.

Dans les mélanges suivants, j'ai introduit quelques centièmes d'argile de Vanves, doses bien insuffisantes pour cimenter les autres éléments. En les composant, j'ai été frappé de la ressemblance singulière qu'ils présentaient avec la terre végétale, à mesure que les matières étaient plus parfaitement mêlées; un agriculteur aurait quelque peine à saisir des différences entre l'une de mes terres artificielles et la terre végétale.

Série B.

	Humate de chaux.			Humate d'alumine.	
	I.	II.	III.	II *bis*.	III *bis*.
Sable	89	94	47	94	47
Calcaire	4	0	47	0	47
Argile	5,4	4,2	4,2	4,2	4,2
Matière organique de l'humate	1	1,2	1,2	1,2	1,2
	99,4	99,4	99,4	99,4	99,4

Ces mélanges ont résisté, comme les premiers, à l'action de l'eau calcaire; je devais m'y attendre, puisque, outre le

ciment argile, ils contenaient à peu près les mêmes proportions de ciment humate que les mélanges de la série A.

Je viens de dire que les humates sont supérieurs à l'argile comme ciments; mais l'argile pourrait bien l'emporter à son tour à un autre point de vue. Elle peut subir indéfiniment des alternatives de sécheresse et d'humidité sans rien perdre de sa qualité. En est-il de même pour les humates? Nous connaissons des précipités gélatineux qui s'agrégent en séchant et forment de petites masses passablement dures ; ce sont autant de ciments. J'en ai fait l'épreuve en mêlant à du sable de l'alumine, du peroxyde de fer, des phosphates de ces deux bases : les mélanges ont pris de la cohésion en séchant, leurs particules ont très-bien résisté à l'eau; mais, quand ils ont été broyés après dessiccation, ils sont devenus incapables de contracter quelque cohésion sous l'influence de l'humectation, parce que l'alumine, l'oxyde de fer et leurs phosphates ne reprennent plus l'état gélatineux qu'ils ont perdu en séchant. Il convenait de rechercher si les humates sont dans le même cas.

La question n'est pas sans intérêt. La terre végétale subit des sécheresses pendant lesquelles le piétinement des hommes et des animaux et le passage des voitures réduisent en poudre une portion de la surface. Si la terre est peu argileuse, et si l'humate, une fois séché et broyé, n'agit plus à la façon d'un ciment, la poussière produite ne s'agrégera plus; et l'on peut croire que, peu à peu, les mêmes effets se reproduisant, les humates n'auront plus la propriété physique que je leur attribue.

Remarquons d'abord que la provision de principes humiques, constamment attaquée par la combustion lente, doit être constamment entretenue par les engrais d'origine végétale : ces engrais produisant des humates nouveaux, la destruction d'une partie du ciment organique à la surface du sol n'empêchera donc pas qu'il s'établisse un régime pour l'ameublissement par les humates, un équi-

libre entre la perte et le gain de ciment, comme il s'en établit pour la provision de terreau.

Néanmoins, il était utile de soumettre mes terres artificielles à l'épreuve du broyage après dessiccation, pour savoir si l'humate perdrait sa propriété. Je les ai donc pulvérisées, humectées et disposées dans des tubes : j'ai attendu dix-huit heures avant de les arroser, pour laisser à l'eau le temps d'agir sur la matière organique.

Les terres de la série A ont fourni les observations suivantes :

Le n° 1, exempt de calcaire, a résisté pendant quelques heures; puis ses particules se sont déformées.

Les n°s 2, 3 et 4 ont résisté encore moins : les terres ont été réduites en pâte d'autant plus vite qu'elles contenaient plus de calcaire; la craie a hâté la destrûction des particules, ce que j'attribue au gonflement qu'elle éprouve dans l'eau.

Ainsi les humates ont réellement perdu, au moins en partie, leur qualité de ciment. Il resterait à savoir s'ils l'auraient reprise sous l'influence d'une humectation prolongée : je n'ai pas fait d'expériences à cet égard.

Mais, quand j'ai porté à 2 pour 100, au lieu de 1 pour 100, la proportion de matière humique dans des mélanges composés d'ailleurs comme ceux de la série A, les particules reconstituées après dessiccation et broyage se sont très-bien comportées : la craie pure elle-même a donné des résultats satisfaisants. Il résulte de ces derniers essais que la propriété des humates n'est détruite que partiellement par le broyage des terres sèches, et qu'il en reste assez, quand la proportion est de 2 pour 100, pour cimenter les particules.

Les terres de la série B, qui contenaient de 4 à 5 pour 100 d'argile, ont toutes résisté après le broyage aussi bien qu'avant. Il est possible que l'argile ait masqué la perte de cohésion produite par le broyage des humates;

mais je croirais plutôt que les deux ciments ont formé une combinaison dont je parlerai un peu plus loin. Quoi qu'il en soit, on voit que des mélanges de sable et de craie, reliés par un ciment composé de $\frac{1}{100}$ d'humate et de quelques centièmes d'argile, peuvent être réduits en poudre sèche, sans perdre la faculté de contracter, par l'humectation, un degré de cohésion suffisant pour les besoins de la terre végétale. C'est, du reste, ce qu'on peut vérifier sans peine en opérant sur des terres naturelles, pourvu qu'elles ne soient pas absolument sableuses, ni trop dépourvues de terreau.

Les agriculteurs ne se bornent pas à dire que le terreau donne du corps aux terres trop légères ; ils lui reconnaissent une propriété contraire dans les terres fortes, en prétendant qu'il les ameublit. On va voir, en effet, que l'argile est singulièrement modifiée dans ses propriétés par son mélange avec les humates. J'ai pétri avec de l'eau de l'argile pure ou additionnée d'humates dans des proportions convenables pour obtenir des mélanges contenant 2, 4, 6 pour 100 de matière organique. Les quatre pâtes ont beaucoup durci en séchant : sous le rapport de la dureté, elles m'ont paru assez semblables ; mais des différences très-sensibles se manifestent quand on les met en contact avec l'eau. L'argile pure et sèche se résout en un mélange de poudre et de petits fragments ; le tout se ressoude quand on laisse sécher sans remuer. Les argiles qui contiennent des humates se résolvent aussi dans l'eau ; mais, séchées comme la première, elles reprennent d'autant moins de cohésion que la proportion d'humate est plus élevée. On peut varier ce genre d'expériences : par exemple, réduire les argiles en poudre, les étaler en couches minces de même épaisseur, imbiber d'eau et laisser sécher ; on constate que les petites masses formées par les argiles à 6 et à 4 pour 100 d'humate s'écrasent aisément sous la pression des doigts, que l'argile à 2 pour 100 est plus résistante,

que l'argile pure l'est encore plus. Au lieu de sécher les argiles, on peut les découper encore humides en lames minces que l'on hache en petits fragments; on répète sur ceux-ci l'expérience précédente faite avec la poudre sèche : les résultats sont les mêmes. A voir les effets des humates, on dirait que ces colloïdes emprisonnent l'argile comme en un réseau, et lui enlèvent la propriété de se distendre sous l'action de l'eau, et de se souder sur elle-même en séchant.

Je suis très-porté à penser que l'argile et les humates contractent une de ces combinaisons non définies que M. Chevreul a signalées depuis bien des années en les attribuant à l'affinité capillaire. Graham a montré plus récemment que les colloïdes ont une certaine tendance à en former de semblables. En effet, quand on extrait l'humate d'une terre végétale par le procédé que j'ai décrit, on constate que l'argile en entraîne en se coagulant une quantité très-notable, qu'on peut retrouver, en partie, en remettant l'argile en suspension dans de l'eau ammoniacale, et en la coagulant une seconde fois. D'un autre côté, quand on essaye de coaguler l'argile suspendue dans une dissolution alcaline d'humate, on observe qu'il faut employer des doses du sel coagulateur d'autant plus élevées que l'humate est en quantité plus grande; par exemple, l'argile pure étant coagulée par $\frac{1}{1000}$ à $\frac{3}{1000}$ de chlorure de potassium, il en faut $\frac{10}{1000}$, $\frac{15}{1000}$, $\frac{20}{1000}$ quand il y a de 100 à 200 milligrammes d'acide humique dans 1 litre d'eau. Ainsi l'argile entraîne l'humate, et l'humate dissous retient l'argile, ce qui semble dénoter entre les deux substances une tendance à la combinaison. Quoi qu'il en soit, les modifications que l'argile subit par son mélange avec les humates rendent compte des observations des praticiens : le terreau ameublit les terres fortes en accumulant dans l'argile des matières colloïdales qui diminuent sa qualité de ciment : le ciment minéral est, en quelque sorte, cimenté par le ciment organique.

On me demandera, sans doute, si la terre végétale contient, en général, une quantité d'humate suffisante pour produire les effets que j'attribue à ces colloïdes. C'est une question que je devais me poser et chercher à résoudre en déterminant la proportion d'acides bruns contenue dans diverses terres.

J'ai analysé quatre terres très-différentes :

La première est un limon de la Seine; c'est le terrain, situé dans la commune de Boulogne, entre les ponts de Sèvres et de Saint-Cloud, où j'ai établi, depuis quatorze ans, la culture continue du tabac.

La deuxième est une pièce de terre dite les Clos, dans la commune de Neauphle-le-Château (Seine-et-Oise); elle est assez légère, fertile, presque dénuée de calcaire.

La troisième, assez peu fertile, située à Saussemesnil, près de Valognes, semble argileuse au premier coup d'œil, tant elle renferme de sable très-fin ; elle est chaulée périodiquement depuis cinquante ans.

La quatrième est exotique : c'est la terre de la Leña, à Cuba, qui produit des tabacs de première qualité. Elle est très-sableuse, mais riche en terreau.

Voici, au surplus, la composition de ces quatre terres [1], abstraction faite des graviers qui s'y trouvent en petite quantité :

		Boulogne.	Lesclos.	Saussemesnil.	Leña.
Gros sable	non calcaire. .	26,4	50,1	10,1	60
	calcaire	21,6	»	»	»
Sable fin	non calcaire. .	21,9	35,3	73,1	26,0
	calcaire	19,5	0,3	2,0	»
Argile mêlée d'humates. . .		10	13,9	11,9	8,4
Grains de terreau dans les sables gros et fin.		indét.	indét.	1,8	3
		100,4	99,6	98,9	97,4

[1] Ces analyses ont été faites d'après un procédé que j'emploie depuis

Malgré tous les soins de l'opérateur, l'extraction des acides humiques ne peut être complète : une partie demeure dans la terre; une autre, peu importante, est retenue dans la liqueur d'où l'on précipite l'humate. Pour échapper le plus possible à cette dernière cause de perte, j'ai employé comme précipitant l'acétate de plomb; mais, auparavant, j'ai détruit le carbonate alcalin formé au contact de l'air dans la dissolution d'humate, par l'acide acétique ajouté en faible excès, et j'ai fait bouillir : sans cette précaution l'humate précipité eût été souillé de carbonate de plomb. J'ai obtenu les nombres suivants :

	Boulogne.	Lesclos.	Saussemesnil.	Leña.
Matière organique contenue dans le précipité desséché, pour 100 de terre sèche.	1,3	1,1	1,6	1,7

Ces proportions, qui sont des minima, sont égales ou supérieures à celles des humates dans mes terres artificielles; ainsi je n'ai point exagéré mes doses : je me suis même tenu sensiblement au-dessous de la dose moyenne des quatre terres analysées.

Il restait encore à examiner une seconde question relative à la répartition des humates dans les sols argileux. Si cette répartition était égale entre les divers éléments d'une terre, l'argile aurait vraisemblablement une part trop faible pour être réellement modifiée dans sa manière d'agir comme ciment. Pour confirmer la valeur pratique de mes expériences, il fallait montrer que le partage est inégal, et que l'argile prend la grosse part.

M. Masure a étudié, avant moi, la répartition de la matière organique entre le sable et l'argile. Il a montré d'a-

---

quelques années, et dont la description fera l'objet d'un prochain Mémoire. Il dose l'argile beaucoup plus bas que les procédés en usage, parce que ceux-ci ne séparent pas l'argile réelle du sable très-fin.

bord que cette matière enduit tous les débris qui composent une terre végétale ; en effet, les divers matériaux que la lévigation classe par ordre de grosseur noircissent tous, en vase clos, sous l'action de la chaleur. Puis, déterminant la matière organique dans les sables et dans les argiles, M. Masure est arrivé à conclure que celles-ci doivent contenir en général deux fois plus de matière que ceux-là ; mais il a eu soin de faire observer, avec raison, que le mode d'analyse employé, consistant à déterminer la matière organique par la perte de poids due à un simple grillage, ne permet pas de compter sur la précision des résultats.

J'ai repris ce genre de recherches, en y introduisant deux perfectionnements : j'ai pratiqué la lévigation exclusivement avec de l'eau distillée, c'est la condition indispensable pour que l'argile demeure en suspension et puisse être dépouillée du sable fin par un repos suffisant; ensuite, pour déterminer la matière organique, j'ai eu recours au seul procédé exact, qui consiste à en doser le carbone et l'azote, par l'analyse élémentaire.

La lévigation a été faite en grand, dans des vases de 30 litres, sur 2 kilogrammes de la terre de Neauphle-le-Château, la plus pauvre des quatre terres précédentes en principes humiques ; j'ai obtenu cinq lots successifs :

Le premier était le gros sable, celui qui se précipite en quelques secondes.

Le second était l'ensemble des sables fins déposés, pendant vingt-quatre heures, par l'eau qui tenait l'argile en suspension.

A la surface de ce sable, il y avait une couche de matières brunes, qui se sont roulées après la dessiccation en écailles presque noires, concaves, nettement séparées du sable sur lequel elles reposaient; mais elles en étaient enduites en dessous; je les ai mises à part et en ai formé le troisième lot.

La liqueur argileuse décantée et abandonnée au repos a encore donné un dépôt dont j'ai fait un quatrième lot.

Le cinquième et dernier a été fourni par l'argile coagulée, filtrée et lavée.

Ces cinq lots ont été desséchés à 150 degrés, pesés et analysés.

Voici d'abord leurs poids relatifs, pour 100 de terre sèche :

1er lot,	gros sable	15,66	pour 100.
2e »	sable fin	60,59	»
3e »	écailles	8,98	»
4e »	2e dépôt de la liqueur argileuse	5,57	»
5e »	argile	9,18	»
		99,98	pour 100.

Le tableau suivant donne les résultats des analyses.

Dans les deux premières colonnes, l'azote et le carbone sont rapportés à 100 parties du lot correspondant; les troisième et quatrième colonnes donnent l'azote et le carbone calculés pour des lots qui proviendraient de 1 kilogramme de terre sèche; enfin la cinquième indique les poids de matière organique correspondant au carbone de la quatrième colonne, et calculés simplement en supposant que cette matière renferme 50 pour 100 de carbone. Toutes ces analyses ont été exécutées par M. Boutmy, ingénieur distingué des manufactures de l'État, attaché à mon laboratoire de 1868 à 1870. Je le remercie, bien tardivement, de son active et intelligente collaboration.

	Pour 100 parties du lot.		Pour 1 kilogramme de terre sèche.		
	Azote.	Carbone.	Azote.	Carbone.	Matière organiq.
			mg	gr	gr
1er lot, gros sable	0,024	0,160	37,6	0,250	0,500
2e » sable fin	0,054	Perdu	327	»	»
3e » dépôt sur le sable fin	0,402	4,062	361	3,650	7,300
4e » 2e dépôt de l'argile	0,471	3,682	362	2,050	4,100
5e » argile	0,462	3,479	424	3,160	6,300

Ce qui frappe surtout dans ce tableau, c'est la différence considérable entre les proportions de la matière organique dans le sable et dans l'argile ; nous sommes loin du rapport 1 : 2 de M. Masure. L'argile contient 6,9 pour 100 de matière organique ; c'est assez pour qu'elle soit réellement modifiée dans sa manière d'agir comme ciment.

Mais il y a eu, dans la préparation des lots, une cause d'erreur que je veux signaler. Il est probable, je dirai même certain, que la lévigation déplace les matières organiques d'un lot pour les mettre dans un autre.

Comme preuve, je citerai la lévigation de mes terres artificielles, composées d'humates et de sable. Le sable se dépose presque pur, tandis que l'humate, séparé par le frottement, forme à sa surface une couche d'un brun foncé. Des séparations de ce genre doivent se produire dans la lévigation d'une terre arable ; nous en voyons même un effet dans la formation du troisième lot. La matière organique, qu'il renferme en abondance, a été enlevée au sable ; plus légère, elle est venue se déposer après lui à sa surface. La matière minérale de ce troisième lot est un mélange de sable extrêmement fin et d'argile ; en effet, sa composition élémentaire est intermédiaire entre celles de ces deux substances, comme le montrent les analyses suivantes, exécutées par M. Boutmy :

	Sable fin.	3e lot.	Argile.
Silice	91,18	82,95	56,22
Alumine......	5,88	9,36	21,70
Chaux........	0,10	»	2,25
Magnésie......	0,27	0,40	1,72
Potasse.......	1,00	2,10	3,36
Soude........	0,62	0,70	0,29
Peroxyde de fer.	0,94	3,62	11,72
	99,99	99,13	97,26

Ainsi, par son mode de formation, sa richesse en ma-

tière organique et sa composition minérale, le troisième lot nous prouve que la lévigation a changé la répartition de la matière organique ; mais il nous montre en même temps que la partie de cette matière qui a abandonné les minéraux qu'elle accompagnait dans le sol ne reste pas en suspension dans l'eau, comme l'argile, mais au contraire se dépose après un certain temps : il est donc naturel d'admettre qu'elle n'est pas demeurée dans l'argile, et que celle-ci a retenu seulement la portion de matière organique qui lui appartenait avant la lévigation. En définitive, je pense que le cinquième lot, l'argile, n'a pas été enrichi ; mais que le premier et le deuxième ont été appauvris, et que la matière organique du troisième lot, peut-être une partie de celle du quatrième, doit leur être restituée.

J'ai insisté sur les effets physiques produits dans les sols par les dissolutions salines et les combinaisons humiques qu'ils contiennent. J'ai montré que ces dissolutions et ces combinaisons concourent au maintien de l'ameublissement, les premières en coagulant l'argile, les secondes en cimentant les particules du sol. Les expériences que j'ai décrites rendent compte de deux propriétés, en apparence opposées, du terreau, celle de donner du corps aux terres légères, et celle d'ameublir les terres fortes.

Il est bien clair que les effets attribués aux sels et au terreau n'ont pas une persistance indéfinie, puisqu'il faut toujours en revenir au labour pour entretenir l'ameublissement. Ce sont des effets temporaires, mais néanmoins efficaces, parce que, sans eux, la première pluie abondante qui détremperait le sol mettrait à néant tout le travail du laboureur.

Parmi les sels, celui qui joue le rôle physique le plus important est le bicarbonate de chaux. Il faut donc main-

tenant ajouter aux avantages reconnus du marnage et du chaulage celui de produire la dissolution de bicarbonate calcaire indispensable pour coaguler l'argile. Envisagée comme aliment minéral des plantes, la chaux pourrait être fournie au sol, comme la potasse, les nitrates, les phosphates, à raison de quelques quintaux par hectare ; mais il faut vraisemblablement la compter par tonnes, quand elle doit fonctionner comme source de bicarbonate.

Les humates du terreau sont un ciment nécessaire, principalement dans les sols qui ne sont pas positivement argileux ; d'où résulte qu'il faut entretenir leur provision, sans cesse attaquée par la combustion lente, au moyen des engrais d'origine végétale, dont le plus important est le fumier. Exclusivement employés, les engrais minéraux peuvent bien tromper le cultivateur par de belles récoltes, pendant quelques années ; celui-ci reconnaît son erreur quand sa terre effritée, manquant de terreau, a perdu la qualité essentielle de rester meuble sous la pluie. Ainsi les effets physiques du terreau, reconnus de tout temps, mais non précisés, se joignent à ses propriétés chimiques, si essentielles au développement des plantes, pour en faire un élément indispensable de la terre végétale.

OBSERVATIONS CRITIQUES

SUR

L'EMPLOI DE LA TEINTURE OU DE LA POUDRE DE GAIAC

POUR APPRÉCIER LA PURETÉ DU KIRSCHENWASSER.

Depuis quelques années on recommande, pour reconnaître la pureté du kirschenwasser, une réaction déterminée par le gaïac, consistant en ce que la teinture ou la poudre de cette résine colore instantanément en bleu l'eau-de-vie de cerises non falsifiée ; le kirsch artificiel, l'alcool aromatisé avec de l'eau de laurier-cerise ne sont pas colorés par le gaïac.

Je n'ai jamais partagé l'engouement des distillateurs pour le nouveau réactif, parce que j'avais vu que, s'il était vrai que du kirsch préparé au Liebfrauenberg, par conséquent parfaitement authentique, fût coloré en bleu par la teinture de gaïac, il arrivait aussi que le même kirsch, venant des merises distillées dans le même alambic, ne se colorait pas. Il y a plus, j'ai obtenu de l'eau-de-vie de prunes (*zwetschenwasser*) qui prenait une couleur d'un bleu intense par le gaïac ; et, au moment où j'écris ces lignes, on retire de l'alambic de l'eau-de-vie de mirabelles qui ne bleuit pas immédiatement par la teinture de gaïac, mais seulement au bout de quelques minutes. Ainsi, en s'en rapportant à la réaction recommandée, le kirsch le plus pur pourrait être considéré comme étant falsifié, et l'eau-de-vie de prunes présenter le caractère du kirschenwasser d'excellente qualité, bien qu'elle n'en possède ni l'odeur suave, ni le goût, ni, à beaucoup près, la valeur

commerciale. Les anomalies que j'ai constatées dans les effets du gaïac, tantôt colorant, tantôt ne colorant pas du kirsch d'une même provenance, la teinte bleue que cette résine fait naître graduellement dans des eaux-de-vie de prunes trouvent leur explication dans une très-intéressante observation, due à M. Bouis, et de laquelle il résulte que la coloration du kirsch par le gaïac provient de traces de cuivre apportées par les alambics; il ressort d'ailleurs de ses expériences que, en présence de l'acide prussique, la teinture de gaïac serait le meilleur réactif de ce métal. Or le kirsch renferme toujours de l'acide prussique; dans un travail sur la fermentation des fruits à noyaux, M. Joseph Boussingault en a dosé $0^{gr},10$ dans 1 litre du kirschenwasser du Liebfrauenberg; il s'y trouve, en outre, indépendamment de l'huile essentielle d'amandes amères, un peu d'acide acétique dont il est facile d'indiquer l'origine.

Un brûleur, en Alsace, considère la fermentation d'un moût de fruits comme terminée lorsque la surface est recouverte, voilée par une mince pellicule blanche, mélange de *mycoderma vini* et de *mycoderma aceti*. A l'apparition de cet indice, il est urgent de distiller pour prévenir la destruction de l'alcool. Toutefois le *mycoderma aceti* a fonctionné assez pour qu'il y ait eu production d'acide acétique, dont une partie passe avec l'eau-de-vie, et, par suite, formation d'acétate cuivrique, pour peu qu'il se trouve de l'oxyde de cuivre soit dans le chapiteau, soit dans le serpentin de l'appareil distillatoire. Dans ces conditions, le kirsch devra contenir de l'acétate, peut-être du cyanure de cuivre, de l'acide prussique; l'eau-de-vie de prunes, seulement de l'acétate, et c'est probablement parce qu'elle ne renferme pas d'acide prussique qu'elle n'est pas colorée immédiatement par le gaïac, mais lentement, progressivement.

Je rapporterai quelques essais entrepris pour rechercher

si c'est uniquement à l'acide prussique qu'il faut attribuer la coloration instantanée en bleu, par le gaïac, de l'alcool tenant un sel de cuivre.

On a mis dans de l'alcool à 55 degrés 0,0002 d'acétate de cuivre; ensuite on a constaté quel était le mode de coloration par la teinture de gaïac, d'abord dans la solution alcoolique telle qu'on venait de la préparer, puis après y avoir ajouté certaines substances.

I. La solution alcoolique, sans aucune addition, est restée incolore pendant une à deux minutes; alors elle a pris une teinte bleue; c'est exactement ce qui a lieu avec l'eau-de-vie de prunes contenant du cuivre.

II. L'huile essentielle d'amandes amères, l'essence de menthe, l'essence de citron n'ont pas activé l'action de la teinture de gaïac; la solution alcoolique est restée incolore après l'addition des essences; elle ne s'est colorée en bleu que graduellement.

III. L'essence de térébenthine ajoutée à la solution alcoolique a sensiblement accéléré l'action de la teinture de gaïac; en moins d'une minute le liquide a été coloré.

IV. L'essence de bergamote a communiqué à la solution alcoolique la propriété de bleuir instantanément par le gaïac, comme le kirsch tenant du cuivre.

V. En versant dans la solution alcoolique quelques gouttes d'acide prussique, la coloration a été immédiate.

VI. On a préparé un kirsch artificiel, en aromatisant de l'alcool à 55 degrés avec de l'eau de laurier-cerise, et l'on y a mis 0,0002 d'acétate de cuivre. La coloration en bleu par le gaïac a été instantanée [1].

Ce résultat était prévu, puisque dans l'eau de laurier-cerise il entre de l'essence d'amandes amères et de l'acide

---

[1] La coloration en bleu de l'alcool contenant du cuivre, par le gaïac, a lieu également à l'abri de l'atmosphère.

prussique, comme dans le kirsch, ce qui ne veut pas dire que le kirsch ne renferme pas d'autres substances; mais ce résultat montre combien il est inexact, et je puis dire dangereux, de prétendre que la réaction du gaïac permet de distinguer le kirsch naturel de celui qu'on prépare avec de l'eau de laurier-cerise, puisqu'il suffirait de dissoudre dans ce dernier un peu d'acétate de cuivre pour qu'on l'acceptât comme du kirsch provenant de la distillation des merises.

Bien qu'il soit rigoureusement établi, par les expériences de M. Bouis, que la coloration en bleu du kirsch, par la poudre ou la teinture de gaïac, est due à la présence du cuivre, le commerce n'en persiste pas moins à repousser comme étant de qualité inférieure, comme falsifié, le kirschenwasser qui ne se colore pas, tandis qu'il accepte celui dans lequel il y a du cuivre introduit, par suite de l'incurie de distillateurs assez négligents pour ne pas tenir leurs alambics dans un état convenable de propreté. Ce fait est très-préjudiciable à l'industrie loyalement exercée. J'en ai la preuve dans une lettre que m'adresse un négociant de Luxeuil (Haute-Saône); j'en donnerai ici un extrait :

« Je suis distillateur de kirsch. Mes alambics sont chauffés au bain-marie : on charge dans chaque appareil 5 hectolitres de cerises fermentées; j'obtiens, comme rendement, la quantité d'alcool désirable, mais mon produit ne prend pas la teinte bleue au contact de la poudre de gaïac. Or c'est à cette épreuve que les marchands soumettent le kirsch que je leur présente, et, parce qu'il ne bleuit pas, ils prétendent qu'il est impur. Cependant il est exempt de tout mélange; mais l'idée que le kirsch doit bleuir par le gaïac est aujourd'hui acceptée comme un article de foi. Le kirsch distillé dans les campagnes, où l'on fait usage de petits alambics chauffés à feu nu, bleuit au contact du gaïac. D'où vient cette différence? »

La réponse à cette question est dans ce que j'ai exposé

précédemment, et sans examiner si, comme l'assurent des personnes compétentes, le kirsch, l'eau-de-vie de vin sortant des appareils perfectionnés en vue d'un plus fort rendement en alcool ou de l'économie du combustible n'ont pas toute la qualité, tout le parfum qu'on rencontre dans les mêmes produits obtenus avec les alambics primitifs chauffés à feu nu, toujours est-il qu'il ne s'y trouve pas de cuivre, ce qui arriverait du reste avec l'ancien système, si l'on prenait la précaution d'étamer les chapiteaux et les serpentins.

J'ai cherché quelle pouvait être la proportion de cuivre contenue dans du très-bon kirsch distillé par un brûleur alsacien; de 1 litre on a retiré $0^{gr},10$ de métal, équivalant à $0^{gr},313$ d'acétate neutre $C^4H^3CuO^4 + HO$. Je rappellerai que, dans 1 litre du même kirsch, on avait dosé $0^{gr},1$ d'acide prussique. Il est curieux de rencontrer dans une liqueur fort appréciée deux substances toxiques à un haut degré, du cuivre et de l'acide cyanhydrique (prussique). L'usage du kirsch n'occasionne cependant aucun inconvénient, et l'on peut dire que « les gens qu'il empoisonne se portent assez bien »; son innocuité dépend certainement de la faible dose à laquelle on le prend.

La capacité d'un verre à liqueur ne dépasse pas 20 centimètres cubes. Pour ce volume, le kirsch examiné (je ne réponds que de celui-là) renfermait :

	gr
Acide prussique.	0,0020
Cuivre exprimé en acétate neutre.	0,0063 = cuivre $0^{gr},0020$

Le paysan alsacien boit le kirsch à plus forte dose; le verre dans lequel on l'offre ordinairement jauge près de 60 centimètres cubes : c'est la ration que l'on accorde à des voituriers obligés de sortir de grand matin. Cette ration contiendrait :

	gr
Acide prussique.	0,006
Cuivre exprimé en acétate neutre.	0,0189 = cuivre $0^{gr},0060$

Il peut paraître singulier qu'une boisson alcoolique tenant en dissolution 2 à 3 dix-millièmes d'un sel de cuivre ne soit pas douée d'une saveur métallique perceptible : il en est cependant ainsi, et c'est précisément parce que c'est une boisson très-alcoolique, ainsi que je m'en suis convaincu par l'expérience que voici :

I. On a dissous $0^{gr},25$ d'acétate de cuivre dans 1 litre d'eau. La solution avait une saveur métallique assez prononcée pour être fort désagréable, et persister après qu'on l'eut rejetée. L'ammoniaque a déterminé dans la solution une nuance bleue très-visible.

II. On a dissous $0^{gr},25$ d'acétate de cuivre dans 1 litre d'alcool à 55 degrés. La solution ne possédait pas plus la saveur métallique que le kirsch renfermant la même dose de cuivre. Même après avoir gardé le liquide dans la bouche pendant quelque temps, on n'éprouva pas la sensation qu'occasionnait l'acétate dissous dans l'eau. L'ammoniaque ne fit pas apparaître, dans la solution alcoolique, la nuance bleue qu'elle avait produite dans la solution aqueuse.

Sans doute, 2 à 3 dix-millièmes d'un sel de cuivre dans un kirsch ne lui communiquent peut-être pas la propriété vénéneuse, si l'on a égard à la faible dose à laquelle on le consomme; mais, comme le métal est introduit par accident, il peut arriver que, dans certains cas, la proportion soit plus forte que celle que j'ai trouvée; par conséquent il serait prudent d'interdire la vente d'une eau-de-vie renfermant du cuivre, car, en en tolérant la présence, il faudrait nécessairement fixer la limite de la tolérance : autrement on pourrait, dans une intention criminelle, en augmenter la quantité jusqu'à donner au liquide spiritueux des propriétés toxiques prononcées, et cela sans qu'on s'en aperçût, à cause de la faculté qu'a l'alcool de masquer la saveur métallique.

C'est d'ailleurs un principe, en administration, de ne pas permettre l'intervention de substances vénéneuses, ne

fût-ce qu'en infime proportion, dans les aliments, dans les boissons. La Préfecture de police fait saisir par ses agents les fruits confits dans le vinaigre, les légumes verts conservés, auxquels on a ajouté un sel de cuivre pour en rehausser la couleur; elle défend la vente, non-seulement des sucreries, mais aussi des papiers dans lesquels on les enveloppe, lorsque dans la coloration de ces matières il entre du cuivre, du plomb, de l'arsenic.

Rien de plus simple que de découvrir le cuivre dans une liqueur alcoolique; il suffit d'y verser quelques gouttes de teinture de gaïac : s'il apparaît une couleur bleue, on aura la certitude de la présence d'un sel de cuivre dans le kirsch, ainsi que M. Bouis l'a démontré; j'ajouterai, comme venant à l'appui de cette conclusion, que j'ai constaté que tout kirsch qui est coloré en bleu par le gaïac donne, avec le ferrocyanure de potassium, un précipité rouge brun de ferrocyanure de cuivre.

ANALYSES COMPARÉES

DU

BISCUIT DE GLUTEN

ET DE

QUELQUES ALIMENTS FÉCULENTS.

Ayant été consulté sur la nature d'un biscuit de gluten préparé en vue de procurer aux personnes atteintes de glycosurie un aliment pouvant remplacer le pain, en contenant beaucoup moins d'amidon, j'ai analysé divers produits désignés sous les noms de *gluten en biscuits ronds, en biscuits fendus, gluten en macaroni, en grains d'orge*. Pour avoir des termes de comparaison, les analyses ont été étendues aux aliments féculents les plus usités : le pain, l'échaudé, la brioche, le vermicelle, le riz, le sagou, les haricots, les lentilles, les pois, les pommes de terre.

J'ai réuni dans le Tableau I les résultats de ce travail, qui, je l'espère, sera de quelque utilité aux praticiens.

De ces aliments, c'est dans le biscuit rond de gluten, recommandé par M. Bouchardat, qu'il entre le moins d'amidon, en exceptant toutefois la pomme de terre qui, à cause d'une forte proportion d'eau, ne renferme pas au delà de 0,23 de fécule. Viennent ensuite, comme plus amylacés, la pâtisserie, le pain, les graines de légumineuses, les pâtes du gluten, le riz, le sagou, le vermicelle.

Afin de pouvoir constituer une ration ne contenant pas plus d'amidon qu'il ne s'en trouve dans 100 grammes de biscuit de gluten, c'est-à-dire $40^{gr},2$, j'ai pris ce biscuit pour le type d'une série d'équivalents, qui sont donnés dans le Tableau II.

TABLEAU I.

	Viande végétale : gluten, albumine, légumine et analogues.	Amidon, dextrine et analogues.	Matières grasses.	Phosphates et autres sels.	Eau.	Azote dosé dans 100 [4].
Biscuit de gluten rond.	44,9	40,2	3,6	2,2	9,1	7,18
Biscuit de gluten fendu......	22,9	61,9	3,1	1,4	10,7	3,67
Gluten-macaroni..........	21,3	64,7	1,0	0,8	12,2	3,41
Pâte de gluten, grains d'orge.	18,9	66,6	1,3	0,7	12,5	3,03
Échaudé................	15,8	54,1	15,1	1,4	13,6	2,53
Brioche.................	10,9	41,3	27,4	2,5	17,9	1,74
Vermicelle ordinaire........	9,5	76,4	0,3	1,3	12,5	1,52
Sagou...................	9,1	74,7	0,6	2,6	13,0	1,46
Pain des boulangers de Paris.	7,0	55,3	0,2	1,0	36,5	1,12
Riz....................	7,5	76,0	0,5	0,5	14,6	1,20
Haricots blancs...........	26,9	48,8	3,0	3,5	15,0 [1]	4,30
Lentilles................	25,0	55,7	2,5	2,2	12,5 [2]	4,00
Pois....................	23,8	55,7	1,6	2,8	13,5 [3]	3,81
Pomme de terre...........	2,8	23,2	0,2	0,8	73,0	0,45

[1] Plus 2,8 de pellicules.

[2] Plus 2,1 de pellicules.

[3] Plus 2,6 de pellicules.

[4] La viande végétale a été déterminée d'après l'azote trouvé dans l'aliment, en admettant 0,16 d'azote dans le gluten et ses analogues.

TABLEAU II.

	Équivalent en poids.	Amidon et analogues.	Gluten, albumine, légumine et analogues.	Matières grasses.	Phosphates et sels.	Eau.
Biscuit rond de gluten......	100,0	40,2	44,9	3,6	2,2	9,1
Brioche.................	97,3	40,2	10,6	26,7	2,4	17,4
Echaudé................	74,3	40,2	11,7	11,2	1,1	10,1
Pain de boulanger..........	72,7	40,2	5,7	0,1	0,7	26,6
Biscuit fendu de gluten.....	64,9	40,2	14,9	2,0	0,9	6,9
Macaroni de gluten.........	62,1	40,2	13,2	0,6	0,5	7,6
Gluten en grains d'orge.....	60,4	40,2	11,4	0,8	0,4	7,6
Vermicelle ordinaire........	52,6	40,2	5,0	0,1	0,7	6,6
Sagou..................	53,8	40,2	4,9	0,3	1,4	7,0
Riz.....................	52,3	40,2	3,9	0,3	0,3	7,6
Haricots................	82,4	40,2	22,2	2,5	2,9	12,3 (1)
Lentilles...............	72,2	40,2	18,1	1,8	1,6	9,0 (2)
Pois....................	72,2	40,2	17,2	1,2	2,0	9,7 (3)
Pomme de terre...........	173,3	40,2	4,9	0,3	1,4	126,5

(1) Plus 2,3 de pellicules.
(2) Plus 1,5 de pellicules.
(3) Plus 1,9 de pellicules.

On voit, en consultant le Tableau II, que 73 grammes de pain des boulangers de Paris n'introduiraient pas plus d'amidon dans une ration que 100 grammes de biscuit rond de gluten, sans être, comme le gluten, léger, friable, sec, difficile à manger. Il est vrai que, dans l'équivalent de biscuit, il y a près de dix fois autant de gluten, de *viande végétale,* que dans l'équivalent de pain. Sans affirmer que le gluten de froment puisse être complétement assimilé à la chair des animaux, toujours est-il que ses propriétés nutritives sont incontestables : aussi 100 grammes de biscuit de gluten sont-ils plus nourrissants que les 70 grammes de pain, par la raison qu'il s'y trouve, avec le même poids d'amidon, plus d'aliment azoté, plus de graisse. Mais, en formulant une ration alimentaire destinée à un glycosurique, la difficulté n'est pas dans l'introduction de l'élément azoté, de la viande : elle est dans la restriction de l'élément féculent, dont une fraction plus ou moins forte, selon l'intensité de la maladie, est transformée en glucose.

La diminution des féculents dans une ration alimentaire a d'ailleurs une limite qu'on ne dépasserait pas impunément, et s'il est possible de restreindre considérablement la fécule, le sucre dans le régime, c'est à la condition de les remplacer par des matières grasses.

Les observations d'un médecin portugais, Rollo, confirmées et étendues par M. Bouchardat, établissent, en effet, que la graisse concourt efficacement à la nourriture des diabétiques. Rollo a obtenu d'excellents résultats en mettant des malades à un régime animal comprenant une forte proportion de lard, sans doute parce que la graisse est à la fois un aliment plastique et un aliment combustible ou respiratoire.

L'utilité des matières grasses comme succédanés des féculents étant admise, il est évident que certaines pâtisseries doivent être préférables au biscuit de gluten : ainsi, dans l'équivalent de l'échaudé pesant 74 grammes, il y a,

avec les $40^{gr},2$ d'amidon, 12 grammes de graisse; dans l'équivalent de la brioche, pesant 73 grammes, $40^{gr},2$ d'amidon sont accompagnés de 27 grammes de beurre. Les équivalents de l'échaudé et de la brioche sont donc beaucoup plus riches en aliment combustible que l'équivalent du biscuit de gluten ne renfermant pas même 4 grammes de substances grasses.

D'après sa constitution, le poids et par conséquent le volume de son équivalent, la pomme de terre serait probablement le meilleur succédané du pain dans le régime des glycosuriques; d'abord elle n'a pas de saveur propre, ce qui est dans le cas particulier une qualité essentielle; ensuite 200 grammes de ce tubercule cuit à l'eau ou rôti sous la cendre n'apporteraient pas sensiblement plus de fécule que 73 grammes de pain de boulanger, et il est vraisemblable que les malades le préféreraient à 100 grammes de biscuit-gluten : je rappellerai que, dans plusieurs contrées, la pomme de terre remplace, pour une grande partie, le pain dans l'alimentation normale.

Il est certain que la teneur en sucre de l'urine d'un diabétique diminue à mesure que les matières amylacées, que les matières sucrées sont moins abondantes dans le régime; en les excluant complétement, il arrive même que l'urine ne renferme plus de glucose; mais généralement le principe sucré reparaît lorsque le malade reçoit une nourriture féculente ou sucrée. La cause qui change l'amidon, les sucres en glucose n'est donc pas toujours détruite; on peut même affirmer qu'elle l'est rarement par l'abstention des féculents; si elle cesse d'agir, c'est qu'il n'y a plus de matière à saccharifier.

Bien que je me sois proposé uniquement de traiter de la composition des aliments, je rapporterai cependant quelques observations faites pendant le concours que j'ai prêté à un habile médecin; elles avaient pour objet de constater la promptitude avec laquelle la lactose, le sucre, l'amidon

passent dans l'urine après leur transformation en glucose, et quelle était pour une ration, dont on connaissait le poids et la nature, la fraction de ces matières éliminée par la sécrétion urinaire.

Chez une personne affectée de glycosurie on avait remarqué, ce qui au reste se présente assez fréquemment, que l'urine émise à jeun ne renfermait pas de sucre. L'urine fut donc examinée dans cette circonstance, puis ensuite quand le malade avait pris un déjeuner dont le lait, le pain et le beurre formaient la base, et qui consistait en :

				Pouvant donner
	gr		gr	gr
Pain............	35	Amidon	19,35	Glucose 21,5 (¹)
Beurre...........	10			
Sucre............	10	Sucre..	10,00	» 10,52
Café, contenant lait..	300	Lactose	15,00	» 15,00
				47,02

Ainsi l'amidon du pain, la lactose du lait, le sucre mis dans le café pouvaient produire 47gr,02 de glucose (²).

I. — 22 *août* 1871 :

	Urine émise.	Par litre, glucose.	Dans l'émission.
	lit	gr	gr
Le 21, à 10h du soir............	0,38	11,4	4,3
Le 22, à jeun..................	0,58	0,0	0,0
A midi, après café pris à 8h du matin	0,10	19,0	1,9
Dans la ration de café au lait, élément de glucose............	»	»	47,0

(¹) *Poids des équivalents.*

Glucose...........	180
Sucre.............	171
Lactose...........	180
Amidon............	162

(²) Le glucose a été dosé par le saccharimètre. L'urine était décolorée par du sous-acétate de plomb solide qu'on se procure en décomposant,

En quatre heures, 0,04 des éléments sucrés ou amylacés, compris dans la ration de café au lait, étaient apparus dans l'urine à l'état de glucose.

II. — 23 *août* :

	Urine émise.	Par litre, glucose.	Dans l'émission.
	lit	gr	gr
Le 22, à 10^h du soir..........	0,26	5,7	1,5
Le 23, à jeun..............	0,414	0,0	0,0
A 11^h, après café pris à 8^h du matin	0,130	2,8	3,7

En trois heures, 0,08 des principes sucrés ou amylacés de la ration avaient passé dans l'urine à l'état de glucose.

III. — 24 *août* :

	Urine émise.	Par litre, glucose.	Dans l'émission.
	lit	gr	gr
Le 23, à 10^h du soir.........	0,270	11,4	3,0
Le 24, à 4^h du matin.........	0,300	1,9	0,6
A 8^h du matin, à jeun..........	0,100	0,0	0,0
A 10^h30^m, après café pris à 8^h30^m.	0,183	17,1	3,1

En deux heures, 0,066 des éléments transformables de la ration de café au lait avaient passé dans l'urine à l'état de glucose.

IV. — 31 *août* :

	Urine émise.	Par litre, glucose.	Dans l'émission.
	lit	gr	gr
Le 30, à 10^h du soir..........	0,300	19,0	5,7
Le 31, à 4^h du matin..........	0,245	13,0	1,4
A 7^h du matin, à jeun..........	0,175	1,9	0,3
A 9^h du matin, à jeun..........	0,100	0,0	0,0

On remplaça le café au lait par des œufs à la coque;

---

par une chaleur convenable, l'acétate. Un fragment de sous-acétate est jeté dans l'urine; on agite et l'on filtre. On est dispensé, en employant ce moyen, de faire la correction à laquelle il faut avoir recours lorsqu'on fait usage d'une dissolution du sel plombique. Cette décoloration par le sous-acétate sec, je l'applique depuis longtemps aux jus sucrés des végétaux.

pain, 35 grammes; beurre, 10 grammes. A midi, trois heures après le déjeuner :

Urine émise $0^{lit},135$; par litre, glucose $0^{gr},0$, dans l'émission $0^{gr},0$;

dans la ration, il entrait :

Pain, 35 grammes = amidon $19^{gr},35$ = glucose $21^{gr},50$.

L'amidon du pain n'avait pas introduit de matière sucrée dans l'émission; ainsi, en l'absence des 15 grammes de lactose et des 10 grammes de sucre que contenait la ration de café au lait, l'urine, recueillie trois heures après le déjeuner, ne renfermait pas de glucose.

Ce résultat a été confirmé dans deux autres expériences faites dans les mêmes conditions. Le glucose reparut dans l'urine après le dîner.

V. — 1er *septembre*. Ration de café au lait pouvant produire 47 grammes de glucose :

	Urine émise. lit	Par litre, glucose. gr	Dans l'émission. gr
Le 1er, à 4^h du matin..........	0,255	5,7	1,45
A 8^h du matin, à jeun..........	0,400	0,0	0,0
A midi, après café pris à 8^h.....	0,200	19,0	3,8

En quatre heures, 0,08 des éléments sucrés ou saccharifiables de la ration de café au lait ont été retrouvés dans l'urine à l'état de glucose.

VI. — 2 *septembre :*

	Urine émise. lit	Par litre, glucose. gr	Dans l'émission. gr
Le 2, à 8^h du matin, à jeun....	0,215	0,0	0,0
A 11^h du matin, après café pris à 8^h.	0,060	22,8	1,4

En trois heures, 0,03 des éléments saccharifiables de la ration ont apparu à l'état de glucose dans l'émission.

VII. — 10 *septembre :*

	Urine émise. lit	Par litre, glucose. gr	Dans l'émission. gr
A 9^h du matin, à jeun..........	0,300	0,0	0,0
A 11^h, après café pris à 9^h......	0,217	20,9	4,5

En deux heures, 0,096 des éléments saccharifiables de la ration ont apparu dans l'urine à l'état de glucose.

VIII. — 17 *septembre :*

	Urine émise.	Par litre, glucose.	Dans l'émission.
	lit	gr	gr
Le 17, à jeun..................	0,106	5,7	0,06
A midi, après café pris à 8^h.....	0,145	43,7	6,34
	Différence......		6,28

En quatre heures, 0,13 des éléments saccharifiables de la ration ont apparu dans l'urine émise à l'état de glucose.

IX. — 19 *septembre :*

	Urine émise.	Par litre, glucose.	Dans l'émission.
	lit	gr	gr
Le 19, à jeun..................	0,174	1,9	0,3
A midi, après café pris à 9^h.....	0,170	28,5	4,8
	Différence......		4,5

En trois heures, 0,095 des éléments saccharifiables de la ration ont apparu dans l'émission à l'état de glucose.

X. — 20 *septembre :*

	Urine émise.	Par litre, glucose.	Dans l'émission.
	lit	gr	gr
Le 19, à 10^h du soir...........	0,720	15,2	10,94
Le 20, à 8^h, à jeun............	0,184	0,0	0,0
A midi, après café pris à 8^h.....	0,170	34,2	5,13

En quatre heures, 0,11 des éléments saccharifiables de la ration ont été trouvés dans l'urine à l'état de glucose.

Ainsi, dans neuf observations, $\frac{8}{100}$, en moyenne, des principes saccharifiables compris dans la ration de café au lait ont été dosés dans l'urine émise à l'état de glucose, qu'on doit surtout attribuer au sucre et à la lactose, puisqu'en remplaçant le sucre et le lait par des œufs, tout en conservant dans la ration les 35 grammes de pain, contenant $19^{gr},75$ d'amidon, il n'y a plus eu apparition de glucose dans la sécrétion urinaire survenue après le déjeuner.

A partir du dîner, la proportion de glucose augmente dans l'urine. Il était intéressant de rechercher quel était, sous l'influence d'une nourriture plus abondante, plus variée que celle du premier repas de la journée, le rapport existant entre le poids des principes sucrés ou saccharifiables consommés et celui du glucose excrété.

J'ai tenté quelques expériences sur ce sujet; leur nombre trop limité n'étonnera personne, car on sait que, pour les exécuter, il faut le concours de trois volontés : celles du médecin, du chimiste et du malade.

Les observations ont duré pendant quatre-vingt-seize heures.

Le régime alimentaire consistait en viande bouillie et rôtie, poisson, choux, pain, potage, lait, café à l'eau, thé, sucre, vin.

Les principes sucrés et saccharifiables compris dans la nourriture étaient :

Pain	95^{gr}	Amidon	$52^{gr},54$		
Pomme de terre	60		13,92		
			66,46	= Glucose	$73^{gr},97$
Choux	100	Sucre	5,00		
Sucre	15		15,00		
			20,00	= Glucose	21,05
Lait	400	Lactose	20,00	= Glucose	20,00
Glucose pouvant être produit par la ration					115,02

I. *Observation du* 13 *au* 14 *novembre* 1871. — Urine rendue en vingt-quatre heures : $1^{lit},4$; glucose dosé dans 1 litre : $34^{gr},2$, dans l'émission, $47^{gr},9$.

II. *Observation du* 14 *au* 15 *novembre*. — Urine rendue en vingt-quatre heures : $1^{lit},5$; glucose dosé dans 1 litre : $22^{gr},8$, dans l'émission : $34^{gr},2$.

III. *Observation du* 15 *au* 16 *novembre*. — Accidents nerveux par suite de tristes préoccupations; insomnie.

L'urine fut examinée à diverses époques de la journée.

		Urine rendue.	Dosé par litre, glucose.	Dans l'émission.
		lit	gr	gr
De 5^h du soir à 9^h du matin.	en 16^h	1,1	45,6	50,16
De 9^h du matin à 2^h du soir.	en 5^h	0,3	55,1	16,53
De 2^h du soir à 5^h du soir...	en 3^h	0,3	41,8	12,54
	24^h	1,7		79,23

IV. *Observation du* 16 *au* 17 *novembre.* — Urine rendue en vingt-quatre heures : 1^{lit},6 ; glucose dosé dans 1 litre : 25 grammes, dans l'émission, 40 grammes.

Le glucose trouvé dans l'urine émise en vingt-quatre heures, sous l'influence du régime dont j'ai indiqué le poids et la composition, représente :

Observation I. — Les $\frac{42}{100}$ des principes sucrés ou saccharifiables de la ration, exprimés en glucose.

Observation II. — Les $\frac{30}{100}$ des principes sucrés ou saccharifiables de la ration, exprimés en glucose.

Observation III. —Les $\frac{69}{100}$ des principes sucrés ou saccharifiables de la ration, exprimés en glucose.

Observation IV. — Les $\frac{40}{100}$ des principes sucrés ou saccharifiables de la ration, exprimés en glucose.

Dans aucun cas, la totalité des principes sucrés ou amylacés de la ration n'a été retrouvée à l'état de glucose dans l'urine.

On exclut rigoureusement du régime des glycosuriques les potages à pâtes féculentes, au riz, au vermicelle, au sagou, ce qui est certainement une grande privation. On permet, il est vrai, de les remplacer par des potages à pâtes de gluten.

L'exclusion m'ayant paru exagérée et la substitution peu justifiée, j'ai voulu savoir ce qu'il existe de féculents dans une assiettée de soupe dont le volume dépasse rarement 166 centimètres cubes.

Dans 1 litre de bouillon on ajoute, pour faire un potage, les doses suivantes :

Vermicelle	44 grammes.
Riz	43 »
Sagou	56 »
Gluten, grains d'orge	60 »

Par conséquent, il y a dans l'assiettée de 166 centimètres cubes :

		Amidon.	Glucose.
	gr	gr	gr
Vermicelle	7,31	5,58	6,20
Riz	7,14	5,43	6,03
Sagou	9,30	6,95	7,73
Gluten, grains d'orge	9,96	6,93	7,37

Ainsi, dans une portion de potage, il n'y a que 6 à 7 grammes de glycogènes ; et il est à remarquer que le potage à pâte de gluten renferme en réalité plus d'amidon que les autres.

Les légumes verts, les racines exemptes de fécule sont admises à peu près en toutes proportions dans les régimes des diabétiques ; il y a pourtant dans les aliments végétaux de notables quantités de matières sucrées. M. Joseph Boussingault a trouvé de 5 à 7 pour 100 de sucre réducteur dans les choux ; 6 à 8 pour 100 de sucre non réducteur dans les carottes ; dans certaines années, le navet en renferme jusqu'à 8 à 9 pour 100 : il est peu de feuilles qui n'en contiennent. Cependant il est reconnu que la substitution des végétaux, des racines aux aliments féculents est favorable ; serait-ce parce qu'il entre dans leur constitution des sels de potasse à acides organiques que la combustion respiratoire change en carbonates alcalins ? Or on sait que les alcalis portés dans l'organisme favorisent la destruction, la combustion du glucose. L'urine des herbivores, mis au régime du vert, est constamment alcaline : il s'y rencontre, ainsi que je l'ai reconnu, du bicarbonate

de potasse. Jamais je n'ai observé de glucose dans l'urine du bétail, alors même que dans la ration je faisais entrer assez de betteraves pour qu'elle contînt 5 kilogrammes de sucre, et en ajoutant à cette ration jusqu'à 3 kilogrammes de mélasse, de manière que l'animal reçût 8 kilogrammes de sucre en vingt-quatre heures; l'urine est restée tout aussi alcaline : elle n'a pas fait dévier un rayon de lumière polarisée.

Pour qu'on puisse se former une idée de l'alcali que peut renfermer une ration consommée à l'étable, on en a recherché la proportion dans plusieurs fourrages.

L'alcali, formé presque entièrement de potasse, a été dosé dans les cendres du végétal. Il s'agit ici d'alcali uni à des acides organiques et ne constituant pas des chlorures, des sulfates ou des phosphates, en un mot, d'alcali passant à l'état de carbonate dans la sécrétion urinaire.

Voici des résultats rapportés à 1 kilogramme de matière :

	Potasse KaO.
	gr
Choux	2,5
Chicorée	1,7
Navets	3,7
Carottes	2,5
Betteraves	6,8
Pommes de terre	3,2
Épinards	4,5

Ainsi, dans $12^{kg},5$ de racines, de fourrages verts, que l'on fait facilement entrer dans la ration d'une pièce de bétail nourrie en stabulation, il peut y avoir :

	Carbonate de potasse.
	gr
Dans les carottes	45,8
Dans les navets	60,3
Dans les betteraves	123,6
Dans les choux	29,9
Dans les pommes de terre	59,0

On comprend dès lors comment l'urine des herbivores est toujours alcaline, et pourquoi il s'y rencontre, par litre, 15 à 16 grammes de bicarbonate de potasse, comme l'analyse l'a confirmé [1]. Le foin qu'on ajoute aux racines, dans une ration, y apporte d'ailleurs un contingent d'alcali.

100 grammes d'épinards contiennent $0^{gr},45$ de potasse, pouvant former par la combustion $0^{gr},6$ de carbonate : ils ont, par conséquent, à peu près la puissance alcaline appartenant à 1 décilitre d'eau de Vichy.

Nul doute que, dans un régime prescrit aux glycosuriques, il n'y ait à prendre en considération l'alcali fourni par les aliments végétaux.

Il n'est pas invraisemblable, par exemple, que dans l'équivalent des pommes de terre, pesant 173 grammes, et où il y a les éléments de $0^{gr},9$ de carbonate de potasse, les $40^{gr},2$ d'amidon qui en font partie soient soumis à une action alcaline favorable au malade, à laquelle échapperont les $40^{gr},2$ d'amidon des équivalents de biscuit de gluten, du riz, des pâtes féculentes, du pain, par la raison que, dans ces aliments, l'alcali s'y trouvant constituer des phosphates n'est pas dans les conditions voulues pour donner lieu à une production de carbonate, par l'effet de la combustion accomplie dans l'organisme.

---

[1] BOUSSINGAULT, *Économie rurale.*

SUR LES

FERMENTS CHIMIQUES ET PHYSIOLOGIQUES;

Par M. A. MÜNTZ.

La différence qui existe entre les ferments doués de vie et les ferments consistant en une substance azotée, non organisée, est établie depuis longtemps. M. Dumas a appliqué à ces derniers la qualification très-caractéristique de *ferments non reproductibles;* ils n'ont, en effet, rien de ce qui caractérise l'être vivant : ils ne sont pas aptes à se multiplier, non plus que toute autre substance chimiquement définie.

La dénomination commune qu'on applique à ces deux classes d'agents de transformation ne peut donc se justifier que par la similitude de leur mode d'action sur les matières aptes à subir leur influence.

Il est quelquefois difficile, en présence de certaines transformations, de décider s'il y a intervention ou non d'êtres organisés, et l'observation microscopique ne permet pas toujours de trancher cette question. On comprend, en effet, qu'il puisse exister des organismes vivants qui, soit par leur petitesse, soit par leur ressemblance avec des corpuscules inorganisés, soit par la valeur de leur indice de réfraction, échappent à l'œil du micrographe.

Il y a un caractère qui établit quelquefois une différence entre ces deux sortes de fermentations, caractère cependant très-incertain : les ferments doués de vie ont leur maximum d'action situé à une température variant de 25 à 40 degrés; tandis que la généralité des ferments chi-

miques a ce maximum situé sensiblement plus haut, à une température où la vie ne se manifeste plus que difficilement.

Un certain intérêt s'attachant à la distinction de ces deux ordres de phénomènes, confondus sous le nom de *fermentations,* j'ai cherché un agent qui permît de les distinguer nettement. Le chloroforme remplit entièrement les conditions voulues : il empêche absolument toute fermentation concomitante de la vie; il est absolument sans influence sur les fermentations d'ordre chimique.

1° 200 centimètres cubes de lait, additionnés de 5 centimètres cubes de chloroforme, restent depuis quatre mois sans se cailler; aucun organisme ne s'y manifeste. (Le beurre s'est en partie dissous dans le chloroforme et s'est précipité au fond avec lui.)

2° 200 centimètres cubes d'urine fraîche, additionnée de 2 centimètres cubes de chloroforme, restent, depuis deux mois, à une température de 25 à 30 degrés, sans subir la fermentation ammoniacale ; aucun organisme n'y apparaît.

3° 10 grammes de sucre de canne, dissous dans 200 centimètres cubes d'eau, en présence de craie, de fromage et de 3 centimètres cubes de chloroforme, ne manifestent pas, au bout de quatre mois, la fermentation lactique; aucun organisme ne prend naissance dans la liqueur.

4° De la chair, de la gélatine, de l'empois d'amidon, d'autres substances très-altérables, en présence de l'eau et d'une petite quantité de chloroforme, se conservent depuis plus de trois mois, malgré la température d'environ 30 degrés à laquelle ils sont soumis. Aucun être vivant, ni animal, ni végétal, ne se trouve dans les liquides.

5° La fermentation alcoolique des sucres, en présence de la levûre de bière, est complétement arrêtée à partir du moment où le chloroforme est mis en contact avec les dissolutions.

Les fermentations concomitantes de la vie ne se manifestent donc pas en présence du chloroforme.

Au contraire, les fermentations chimiques ne sont ni entravées, ni même ralenties par la présence du même agent.

1° 2 grammes d'orge germée sèche, contenant originairement 0gr,05 de glucose ([1]), ont été mis en contact avec 40 centimètres cubes d'eau et 5 centimètres cubes de chloroforme : au bout de cinquante heures, il s'était formé 0gr,52 de glucose.

Dans une expérience parallèle, sans chloroforme, il s'était développé, dans le même temps, 0gr,54 de glucose.

2° 10 grammes de tourteau d'amandes amères, contenant originairement 0gr,006 d'acide cyanhydrique ([2]), ont été mis en contact avec 300 centimètres cubes d'eau et 5 centimètres cubes de chloroforme : au bout de soixante-dix heures il s'était développé 0gr,032 d'acide cyanhydrique. Dans une expérience parallèle, sans chloroforme, il s'était également développé 0gr,032 d'acide cyanhydrique.

3° De l'empois d'amidon très-liquide, contenant originairement, pour 100 centimètres cubes, environ 0gr,015 de glucose, a été mis en contact avec de la salive et du chloroforme en grande quantité : après quinze heures, il s'était formé, pour 100 de liquide, 0gr,120 de glucose.

Le même empois, sans chloroforme, a donné, avec la salive, dans le même temps, 0gr,110 pour 100 de glucose.

4° De la farine de graine de moutarde, qui ne contenait que des traces d'essence, mise en contact avec de l'eau et du chloroforme, a développé une odeur aussi forte que celle de la farine qui était avec l'eau pure.

5° 100 centimètres cubes d'une dissolution de sucre de canne à 5 pour 100 marquaient au saccharimètre 33,0 à droite. Additionnée de 3 grammes de levûre et de 5 gouttes de chloroforme, cette liqueur, sans dégager une bulle d'acide carbonique, s'est intervertie à peu près complète-

---

([1]) Dosé par la liqueur de Fehling.
([2]) Dosé par le procédé de M. Buignet.

ment au bout de quarante-huit heures. En effet elle marquait, au bout de ce temps, 9,5 à gauche.

Dans cette expérience, la levûre a donc produit son action chimique, l'interversion, due à une matière soluble qu'elle renferme et qui a la plus grande analogie avec la diastase et ses congénères; elle n'a pas produit la fermentation alcoolique, qui est un acte physiologique, c'est-à-dire concomitant de la vie.

Ces exemples suffisent pour montrer qu'il est possible d'établir, au moyen du chloroforme, une distinction très-nette entre les fermentations d'ordre chimique et les fermentations d'ordre physiologique.

Cette propriété me permettra, je l'espère, d'aborder sous un point de vue nouveau l'étude des virus et des autres matières d'origine animale qui sont aptes à jeter des désordres dans l'organisme vivant. On pourra, en effet, faire la distinction entre les virus qui paraissent agir à la manière de la diastase et de ses analogues et les liquides altérés produisant les symptômes de la septicémie, qu'on croit devoir attribuer à des animalcules, les vibrions.

Il sera possible aussi de faire la part de l'intervention des êtres organisés dans ces fermentations ou transformations curieuses que M. Berthelot a décrites ([1]).

Dans le cours de ces recherches, je n'ai pas étudié d'une manière spéciale les symptômes d'anesthésie chez les organismes inférieurs. La levûre de bière anesthésiée pendant plusieurs heures n'a jamais, après qu'on l'eut soustraite à l'action du chloroforme, paru reprendre, avec la même intensité, son action sur les matières sucrées. Le ferment lactique a paru plus susceptible de reprendre son fonctionnement ordinaire. Un contact prolongé amène la mort.

Je continue ces recherches dans l'ordre d'idées indiqué dans le présent travail.

([1]) *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. L, p. 322 et 369.

MÉMOIRE
SUR
LE DOSAGE DU TANNIN;

Par MM. A. MÜNTZ et RAMSPACHER.

Le dosage exact du tannin a une importance considérable, et l'on a souvent eu à regretter qu'il n'existât aucun procédé permettant de déterminer avec une certitude absolue l'une des matières premières d'une grande industrie.

Nous ne passerons pas en revue les nombreux procédés de dosage qui ont été proposés; qu'il nous suffise de dire que presque tous ces procédés ne donneraient des résultats exacts que si l'on opérait sur du tannin pur. Mais cela n'est jamais le cas, et les matières tannantes que l'industrie des cuirs emploie contiennent toujours des principes qui peuvent influer sur les diverses réactions proposées pour les dosages, ou, tout au moins, empêcher que ces réactions soient aussi nettes qu'il le faudrait pour arriver à un dosage rigoureux. Il convient donc de rejeter les procédés basés sur des réactions chimiques.

On peut les remplacer par une méthode qui se rapproche de la pratique industrielle, l'absorption du tannin par un morceau de peau. On a proposé, il y a longtemps, de déterminer le tannin contenu dans une dissolution en y plongeant un morceau de peau pesé, qu'on repèse après la fixation du tannin. Quoique séduisante par son apparente simplicité, cette méthode n'est pas applicable.

L'un de nous a montré [1] que les chances d'erreur sont beaucoup trop considérables, la peau sèche étant une matière extrêmement hygrométrique, qu'il est presque impossible de ramener à un état de dessiccation constant.

Le procédé de dosage basé sur l'emploi d'une dissolution de gélatine ne donne aussi que des résultats peu certains ; il est presque généralement abandonné. Nous avons remarqué que la dissolution d'une matière tannante, filtrée par pression ou aspiration à travers un morceau de peau, lui abandonne tout son tannin, tandis que la totalité des autres matières dissoutes traverse le tissu animal.

Cette propriété nous a paru pouvoir être appliquée à la détermination exacte du tannin. En effet, si l'on évapore à sec des quantités égales de la dissolution de la matière tannante et de cette même dissolution débarrassée de tannin par son passage à travers la peau, on obtient deux résidus, dont l'un contient toutes les matières solubles de la substance à analyser, et l'autre les mêmes matières, moins le tannin. En retranchant le poids du second résidu du poids du premier, on a le poids du tannin contenu dans le liquide soumis à l'évaporation.

On peut remplacer cette évaporation par la prise des densités des liquides avant et après la filtration, l'augmentation de densité que donne le tannin à l'eau étant déterminée par des expériences préliminaires. Nous décrirons d'abord l'appareil dont nous nous sommes servis en premier lieu, et ensuite celui auquel nous nous sommes définitivement arrêtés et dont le maniement facile permettra à tout tanneur de faire rapidement et avec précision le dosage du tannin dans les matières qu'il emploie.

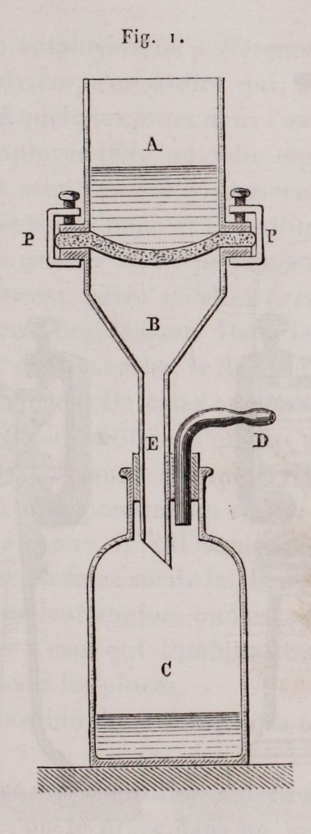
L'appareil primitif se compose de deux parties distinctes : l'une A (*fig.* 1) consiste en un cylindre en zinc ou en fer

---

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, 4e série, t. XX.

étamé, portant à sa base un rebord d'environ 15 millimètres de largeur et 4 millimètres d'épaisseur; l'autre B consiste en un cylindre de même diamètre, plus court, se terminant par un cône, au sommet duquel est soudé un tube E; ce cylindre porte un autre rebord pareil au pré-

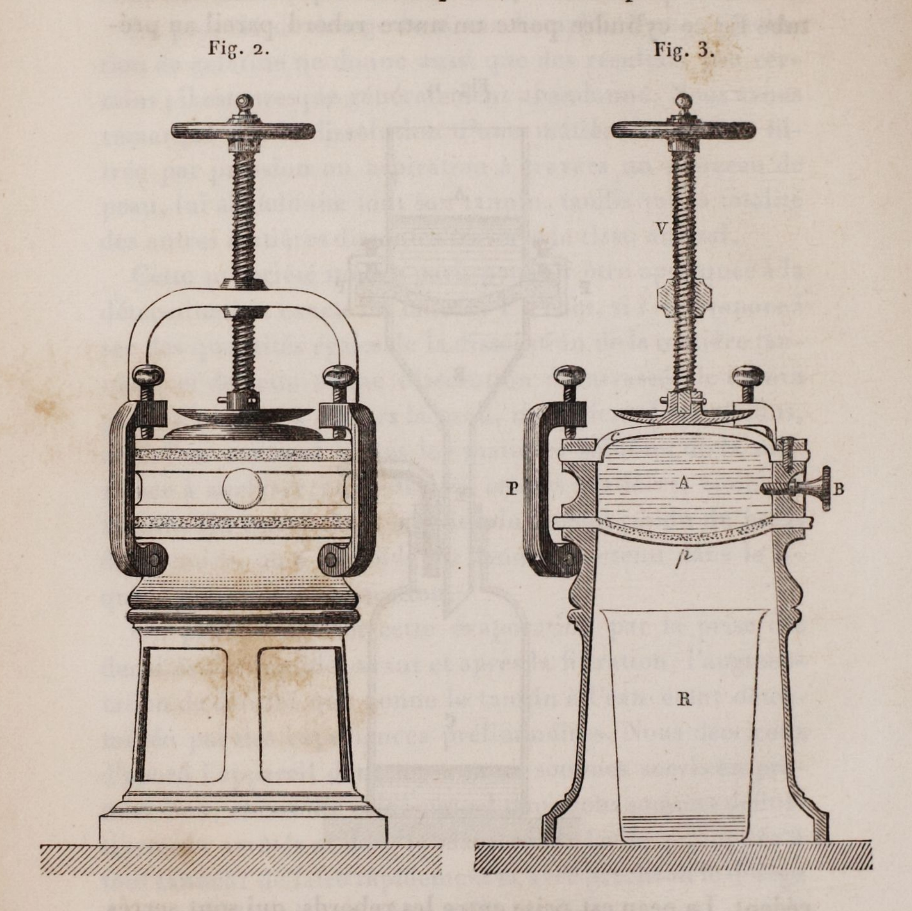
Fig. 1.



cédent. La peau est prise entre les rebords, qui sont serrés par les pinces P. Le liquide est placé dans la partie A, au-dessus de la peau. Le tube E s'engage dans un bouchon en caoutchouc, qui s'adapte sur le flacon C; une seconde tubulure T est mise en communication avec une machine pneumatique ou avec une trompe. La filtration du liquide

s'opère dès qu'on fait aspiration ; il tombe goutte à goutte dans le flacon C.

L'appareil définitif (*fig.* 2 et 3) se compose d'un socle, d'une couronne et d'un chapeau ; ces trois parties sont re-



liées au moyen de trois petites pinces P, fixées au socle et destinées à serrer la peau *p*. Le chapeau a la forme d'un étrier ; il porte une vis V, terminée par un petit disque de bronze. En abaissant la vis, ce disque vient comprimer le caoutchouc *c* qui, communiquant la pression qu'on lui

donne au liquide placé en A, le force à traverser la peau. La couronne qui sépare le chapeau du socle porte un petit orifice en forme d'entonnoir, par lequel on introduit le liquide et que l'on bouche au moyen d'un petit bouchon à vis. Le caoutchouc C est serré entre la base du chapeau et la couronne.

La peau que nous employons de préférence est celle qui sort du travail de rivière, c'est-à-dire qui, après avoir été dépoilée, a séjourné quelques jours dans l'eau courante. Il est indifférent d'employer telle ou telle espèce de peau, pourvu qu'elle soit assez épaisse pour retenir tout le tannin et pas assez ferme pour s'opposer à une filtration rapide.

Les parties dites *creuses* nous paraissent se prêter le mieux à nos expériences, parce qu'elles permettent au liquide de les traverser rapidement. Dans le bœuf, nous choisissons le flanc; dans la vache, le flanc et la tête; dans le veau, la tête seulement. De cette manière, la peau sur laquelle on a prélevé l'échantillon n'est pas endommagée. Il nous semble préférable aussi d'employer les peaux dépoilées à l'échauffe; si cependant on se sert de celles qui ont été dépoilées à la chaux, il faut avoir soin de les malaxer dans l'eau pour en faire sortir la chaux. Le morceau étant découpé à la grandeur voulue, on l'exprime à la main pour en faire couler l'eau qui l'imbibe; on le pose en place et on le serre avec les pinces.

Pour faire la dissolution du tannin, nous opérons de la manière suivante.

Après avoir prélevé un échantillon moyen de la matière tannante à examiner, on le broie dans un moulin à café. La matière étant ainsi pulvérisée, on en pèse une certaine quantité; pour les écorces de chêne ordinaires, on prend 20 grammes; pour les écorces plus riches, comme celles d'Afrique, la garouille, etc., on prend 10 grammes; pour les kinos, le dividivi, etc., 5 grammes suffisent; enfin, si la matière contient au delà de 60 pour 100 de tannin,

comme les extraits secs de châtaignier, on n'opère que sur 3 grammes de matière. Cette matière est placée au fond d'une allonge effilée, munie d'un tampon de coton et posée au-dessus d'une éprouvette graduée à 100 centimètres cubes. On tasse légèrement et l'on y verse de l'eau bouillante par petites portions, en ayant soin que la filtration ne s'opère pas trop vite. Il est prudent de mettre une heure au moins à faire ce lavage par déplacement. Quand on a obtenu 100 centimètres cubes de liquide, on ne recueille plus ce qui passe. A ce moment, on peut considérer la matière comme épuisée. On mélange le liquide en bouchant l'éprouvette avec la main; quand il est revenu à la température ambiante, on y plonge le tannomètre et on lit le degré au point d'affleurement. Le liquide est alors introduit dans l'appareil, la peau étant en place, par l'orifice B (*fig.* 4), qui est immédiatement rebouché. Ce liquide remplit alors, en partie ou en totalité, l'espace A compris entre le caoutchouc et la peau. En abaissant la vis V, on exerce sur le caoutchouc une pression qui force le liquide à filtrer à travers la peau; il tombe goutte à goutte dans le vase R, avec une rapidité variant avec la pression donnée [1]. De temps en temps on fait jouer la vis pour maintenir la pression, qu'on peut rendre assez forte. Quand on a obtenu assez de liquide pour remplir une petite éprouvette, ce qui arrive au bout de vingt ou trente minutes, on arrête l'opération et on lit le degré que marque au tannomètre le liquide filtré transvasé dans la petite éprouvette. Le second chiffre obtenu est retranché du premier donné par le liquide avant la filtration. La différence entre les deux chiffres donne directement la quantité de tannin contenue dans 100 centimètres cubes du liquide.

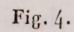
---

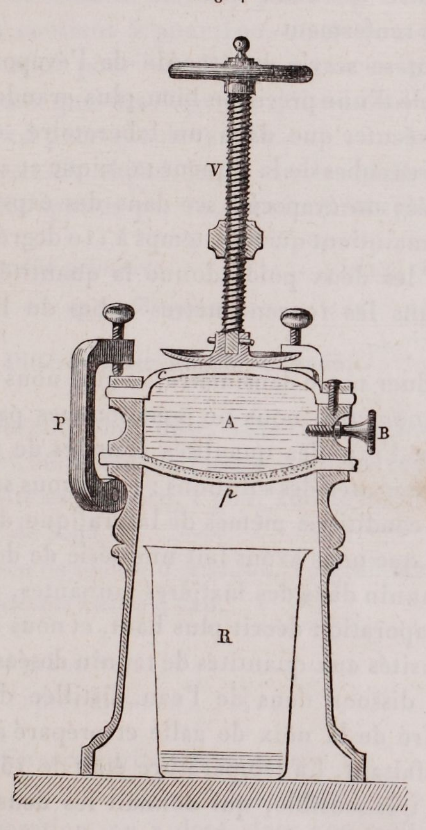
[1] Pour les expériences de précision, il est bon de rejeter les 10 ou 15 centimètres cubes qui passent en premier lieu et qui contiennent l'eau imbibant la peau. Dans la pratique il n'est pas nécessaire de faire disparaître cette cause d'erreur, qui est insignifiante.

Supposons que l'on ait obtenu :

Pour le liquide primitif.........	3,2
Pour le liquide filtré............	1,5
On aura pour différence.....	1,7

ce qui veut dire que 100 centimètres cubes de liqueur con-


Fig. 4.



tiennent $1^{gr},7$ de tannin. Pour savoir combien de tannin contient la substance analysée, on multiplie la différence trouvée par $\frac{100}{20} = 5$, si l'on a opéré sur 20 grammes de

matière; par $\frac{100}{10} = 10$, si l'on en a pris 10 grammes; par $\frac{100}{5} = 20$, si l'on en a pris 5 grammes, et ainsi de suite.

Quand la matière à analyser est liquide, comme les extraits de châtaignier, on se borne à en mélanger 5 grammes avec de l'eau et à amener le volume à 100 centimètres cubes. Quant aux jus des passements ou jus d'écorces dont on veut connaître la richesse, on les emploie tels quels; la différence entre les deux densités donne directement le tannin qu'ils renferment.

Si l'on veut se servir du procédé de l'évaporation, qui est susceptible d'une précision bien plus grande, mais qui ne peut s'exécuter que dans un laboratoire, on prélève 10 centimètres cubes de la liqueur tannique et autant de la liqueur filtrée; on évapore à sec dans des capsules à fond plat, et l'on maintient quelque temps à 110 degrés. La différence entre les deux poids donne la quantité de tannin contenue dans les 10 centimètres cubes du liquide employé.

Pour graduer notre densimètre, auquel nous donnons le nom de *tannomètre,* nous ne nous sommes pas bornés à ajouter à de l'eau des quantités connues de tannin et à prendre les densités des solutions : nous nous sommes placés dans les conditions mêmes de la pratique des dosages, c'est-à-dire que nous avons fait une série de dosages très-exacts du tannin dans des matières tannantes, par le procédé de l'évaporation décrit plus haut, et nous avons comparé les densités aux quantités de tannin dosées.

1° On a dissous dans de l'eau distillée du tannin à l'éther, retiré de la noix de galle et préparé à un état de pureté satisfaisant. La température était de 15 degrés. Un densimètre très-sensible, qui donnait les densités à $\frac{1}{10000}$ près, marquait :

Dans l'eau pure..........................	1000,0
Dans l'eau contenant $0^{gr},5$ pour 100 de tannin...	1002,0

Dans l'eau contenant	1,0 gr	pour 100 de tannin...		1004,0
»	1,5	»	...	1006,0
»	2,0	»	..	1008,0
»	5,0	»	...	1018,5

Ainsi la proportionnalité entre la quantité de tannin et l'augmentation de densité produite se maintient quand les quantités de tannin ne sont pas trop fortes; quand le liquide en contient 5 pour 100, on ne peut plus compter sur la densité pour un dosage rigoureux; aussi n'employons-nous que des liqueurs qui ne contiennent pas au delà de 2 à 3 pour 100 de tannin.

2° Écorce de chêne jeune de la haute Bourgogne; 20 grammes épuisés par 100 centimètres cubes d'eau.

Densité primitive	1011,0
» après filtration	1004,5
Différence attribuable au tannin.	6,5

Par l'évaporation on a dosé, dans 100 centimètres cubes de liquide, 1gr,66 de tannin (soit 8,30 pour 100 d'écorce).

Dans cette expérience, 1 pour 100 de tannin a augmenté la densité de 3,95.

3° Écorce de chêne d'Afrique, 10 grammes épuisés par 100 centimètres cubes d'eau.

Densité primitive	1007,25
» après filtration	1002,50
Différence attribuable au tannin....	4,75

Par l'évaporation, on a dosé, dans 100 centimètres cubes de liquide, 1gr,24 de tannin (soit 12,4 pour 100 d'écorce).

Dans cette expérience, 1 pour 100 de tannin a augmenté la densité de 3,84.

4° Dividivi; 3 grammes épuisés par 100 centimètres cubes d'eau :

Densité primitive	1007,40
» après filtration	1002,80
Différence attribuable au tannin	4,60

Par l'évaporation, on a dosé, dans 100 centimètres cubes de liquide, $1^{gr},19$ de tannin (soit 37,0 pour 100 de matière).

Dans cette expérience, 1 pour 100 de tannin a augmenté la densité de 3,86.

5° Cachou (*terra japonica*); 10 grammes épuisés par 100 centimètres cubes d'eau :

Densité primitive	1031,5
» après filtration	1015,0
Différence attribuable au tannin	16,5

Par l'évaporation, on a dosé, dans 100 centimètres cubes de liquide, $4^{gr},35$ de tannin (soit 43,50 pour 100 de matière).

Dans cette expérience, 1 pour 100 de tannin a augmenté la densité de 3,80.

6° Extrait de châtaignier liquide, 10 grammes dans 100 centimètres cubes.

Densité primitive	1014,75
» après filtration	1002,50
Différence attribuable au tannin	12,25

Par l'évaporation, on a dosé, dans 100 centimètres cubes de liquide, $3^{gr},0$ de tannin (soit 30,0 pour 100 d'extrait).

Les chiffres obtenus pour l'augmentation de densité que

le tannin fait subir à l'eau pure ou chargée des autres matières solubles des substances tannantes sont assez concordants pour que nous ayons pu, avec ces données, construire un densimètre spécial gradué de manière à indiquer les quantités réelles de tannin contenu dans un liquide. En moyenne, 1 pour 100 de tannin fait subir à l'eau ou aux dissolutions aqueuses des matières tannantes une augmentation de 3,9 millièmes. Notre densimètre marque 0 dans l'eau pure à 15 degrés; 1 dans une dissolution ayant une densité de 1003,9; 2 lorsque la densité est de 1007,8; 3 à la densité de 1011,7; les intervalles entre *chacune de ces unités* sont divisés en 10 parties; chacune de ces divisions correspond à $\frac{1}{1000}$ de tannin contenu dans le liquide.

Il est inutile de tenir compte de la température dans les essais; en effet, la lecture de la densité se faisant pour les deux liquides à la même température, le résultat obtenu est identique, quelles que soient les variations thermométriques, la dilatation du liquide étant la même dans les deux cas.

Exemple. — Une dissolution d'écorce de chêne marquait à 11 degrés :

Avant la filtration	2,60
Après la filtration	0,65
Tannin dosé dans la dissolution	1,95

Cette même dissolution, portée à 32 degrés, marquait

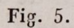
Avant la filtration	3,35
Après la filtration	1,50
Tannin dosé dans la dissolution	1,95

Les résultats obtenus à des températures très-différentes, mais identiques pour les deux dissolutions, sont donc les mêmes.

Les expériences faites pour démontrer que la peau retient tout le tannin sans absorber en proportion sensible les matières qui peuvent l'accompagner, telles que les sucres, gommes, acides et sels végétaux, matières extractives, etc., sont les suivantes :

1° Une dissolution à 3 pour 100 de tannin à l'éther a été filtrée sur la peau ; 200 centimètres cubes de liquide filtré, évaporés à sec, ont laissé un résidu pesant $0^{gr},08$ et consistant en matière résineuse noire contenue dans le tannin à l'état d'impureté.

Quand la peau est en excès, elle ne laisse passer aucune trace de tannin : la combinaison est immédiate ; aussi, dans les dosages, voit-on la partie supérieure de la peau complétement transformée en cuir, tandis que la partie inférieure n'a subi aucune action. Nous donnons (*fig.* 5)


Fig. 5.



la coupe d'un morceau de peau après le dosage ; la partie pointillée est tannée ; la partie inférieure reste à l'état de peau. La limite où s'arrête l'action du tannin est nettement tracée.

2° Une dissolution de sucre de canne à 5 pour 100 environ marquait au saccharimètre $32^{div},5$; après la filtration (les premières parties du liquide étant rejetées), la dissolution marquait également $32^{div},5$. Le sucre de canne n'a donc pas été absorbé.

3° Une dissolution étendue de gomme arabique, contenant par 20 centimètres cubes $0^{gr},570$ de matières fixes, a été filtrée à travers la peau ; 20 centimètres cubes de liqueur filtrée contenaient : matières fixes, $0^{gr},489$. Dans cette expérience, une petite quantité de gomme paraîtrait

avoir été retenue; cependant, comme la solution gommeuse primitive était trouble et que la solution filtrée était parfaitement limpide, on peut admettre que ce qui a été retenu par la peau était formé de matières en suspension qu'un filtre aussi parfait qu'un tissu animal d'une certaine épaisseur n'a pas laissé passer.

4° De l'acide acétique très-étendu, dont 5 centimètres cubes saturaient $23^{cc},5$ d'eau de chaux, a saturé, après son passage à travers la peau, $22^{cc},9$ de la même eau de chaux. La petite diminution d'acidité provient de la présence d'un peu de chaux dans le tissu de la peau; en effet, l'acide filtré contenait une petite quantité d'acétate de chaux.

5° Une dissolution d'acide gallique à $0^{gr},122$ par 20 centimètres cubes en contenait, après filtration, $0^{gr},098$. La peau s'était gonflée considérablement; la filtration était extrêmement rapide. La proportion d'acide gallique retenu est extrêmement faible en comparaison du poids de la peau. Quelques tanneurs pensent que l'acide gallique tanne, c'est-à-dire se fixe sur la peau à la manière du tannin; ils expriment cette idée en disant que l'acide gallique donne du poids.

Nous pouvons affirmer que l'acide gallique ne tanne pas; mais il a la propriété de rendre la peau très-perméable et, par suite, de permettre l'absorption ou plus rapide ou plus considérable des matières tannantes.

Si cet acide n'était pas d'un prix trop élevé, il rendrait certainement de grands services dans l'industrie des cuirs.

6° Une dissolution de bitartrate de potasse a traversé intégralement la peau. 200 centimètres cubes de dissolution primitive ont donné : résidu sec, $0^{gr},075$; la même quantité de dissolution filtrée a laissé $0^{gr},073$ de résidu.

7° De la matière extractive, venant de jus de prunes ayant subi la fermentation alcoolique, n'a pas été retenue. Outre les principes indéterminés auxquels on applique le

nom de matières extractives, ce jus contenait des sels à acides organiques de chaux, de potasse, des acides libres, du glucose non détruit par la fermentation, etc. 20 centimètres cubes de cette dissolution contenaient : extrait séché à 110 degrés, $0^{gr},450$; après la filtration, on en a trouvé $0^{gr},431$.

Toutes ces expériences montrent que la peau, même en très-grand excès, n'absorbe pas, dans les conditions de notre procédé de dosage, des quantités notables de matières autres que le tannin, tandis que le tannin est retenu intégralement. Cette absorption est encore rendue plus faible par le fait de la fixation du tannin qui, transformant la peau en cuir, déplace les substances qui avaient pu se fixer. Nous donnons un exemple de ce mode d'action : une dissolution de sulfate de quinine acide avait traversé la peau qui en avait retenu une quantité assez sensible ($0^{gr},22$ de quinine pour 35 grammes de peau).

En filtrant sur cette peau une dissolution de tannin, on a déplacé $0^{gr},15$ de la quinine absorbée. L'eau seule était incapable de produire ce déplacement.

Les matières colorantes peuvent se fixer sur la peau en quantité notable, à la manière du tannin ; mais comme, dans la pratique des dosages, on n'a pas affaire à ces matières, il est inutile d'insister sur leur action. Nous citerons seulement l'expérience de la filtration de vin rouge, qui a passé parfaitement incolore, n'ayant perdu que sa saveur astringente et sa couleur.

Les huiles traversent la peau avec facilité ; l'huile filtrée est d'une limpidité remarquable. Peut-être y aurait-il là un moyen de clarification.

En résumé, les expériences qui précèdent montrent :

1° Qu'une dissolution contenant du tannin, passant par filtration à travers la peau qui se trouve en excès, abandonne à la peau la totalité de son tannin ;

2° Que les matières autres que le tannin qui peuvent

existier dans les substances tannantes traversent la peau sans être retenues d'une manière sensible ;

3° Que le tannin dissous dans l'eau pure ou dans l'eau contenant les matières végétales habituelles augmente la densité du liquide proportionnellement à sa quantité, si toutefois cette quantité ne dépasse pas certaines limites ;

4° Que les changements de température entre les limites normales sont sans influence sur l'augmentation de densité que le tannin fait subir au liquide, c'est-à-dire qu'une même quantité de tannin augmentera du même chiffre la densité à 10 degrés et la densité à 30 degrés;

5° Que les tannins d'origines diverses augmentent la densité de l'eau d'une quantité sensiblement identique.

Pour terminer, nous rappelons que, si le procédé de l'évaporation doit être préféré dans les laboratoires, le procédé par la prise des densités, d'une exécution bien plus rapide, est le seul que nous conseillons aux industriels, auxquels il fournira des indications suffisamment exactes sur la richesse des matières tannantes.

EXPÉRIENCES

POUR

CONSTATER LA PERTE EN SUCRE

DANS LE SUCRAGE DU MOUT ET DU MARC DE RAISIN.

Dans les années de mauvaises récoltes, le vigneron introduit quelquefois des matières sucrées dans le moût, soit pour améliorer la qualité du vin, soit pour en augmenter la quantité. Lors de l'invasion de l'oïdium, quand le vin acquit un prix excessif, on essaya même d'en faire d'artificiel en mêlant à de l'alcool dilué de betteraves du tartrate acide de potasse, des principes colorants et astringents, certains éthers. Quoique ces tentatives aient été dirigées avec intelligence, on resta néanmoins loin du but qu'on s'était proposé d'atteindre. On obtint toutefois des boissons d'un goût agréable, préférables peut-être, sous le rapport de la saveur, à ces vins âpres, acides, de certains crus, vins naturels, sans doute, mais d'un mauvais naturel. C'est que, pour imiter par la synthèse une boisson aussi complexe, il faudrait être guidé par des données analytiques qui, si elles ne manquent pas entièrement, sont évidemment incomplètes. En effet, on ne connaît encore que fort imparfaitement la constitution du vin; la preuve, c'est qu'il arrive presque toujours que de nouvelles recherches y signalent de nouveaux corps. C'est ainsi que les travaux de M. Pasteur y ont révélé l'existence de la glycérine, de l'acide succinique, produits constants de la fermentation.

Malgré les progrès accomplis, aujourd'hui encore, la prétention de faire du vin me paraît tout aussi téméraire que celle qu'on eut autrefois d'imiter les eaux minérales,

dont on croyait connaître la composition intime. On sait quel fut le résultat : des eaux médicinales qui ne guérissaient personne. C'est que l'analyse sur laquelle on s'appuyait avait laissé échapper des agents thérapeutiques qu'elle a trouvés plus tard, en bien petites quantités, il est vrai, mais dont la puissante énergie supplée à la faiblesse de la dose : l'iode, le brome, l'arsenic. N'est-il pas permis de supposer que, comme les eaux minérales, les vins doivent en partie leurs effets salutaires, leurs saveurs spéciales, leurs bouquets, à des substances encore inconnues?

Le sucrage, pratiqué par les vignerons, n'a pas pour objet, je le reconnais, la fabrication du vin, mais simplement d'apporter au moût un élément qui peut s'y trouver en proportion insuffisante, le sucre, générateur de l'alcool; aussi a-t-on conseillé, depuis longtemps, de le faire intervenir dans la fermentation des raisins de maturité incomplète.

Macquer, considérant que « le moût des raisins verts péchait essentiellement par une trop petite quantité de principes saccharins et une trop grande quantité d'acide, admit que la seule manière vraiment efficace de remédier à cet inconvénient était d'en changer la proportion, en ajoutant du sucre au moût trop acide et trop peu sucré; l'expérience prouvant que cette addition produit des effets avantageux [1] ».

Macquer, le comte de Bullion, assurent qu'ils firent un vin de bonne qualité avec du raisin d'une imparfaite maturité, en dissolvant dans le jus assez de sucre brut pour lui communiquer la saveur du vin doux.

Ces essais, datant de 1776, sont, je crois, le point de départ du sucrage, que Chaptal, en 1800, recommandait en ces termes, dans son *Art de faire le vin* : « Comme le sucre de canne est très-répandu, c'est celui qu'on emploie

---

[1] Macquer, *Dictionnaire de Chimie*, t. IV, p. 209.

pour améliorer la fermentation, mais il serait plus économique d'extraire le sucre de raisin dans les années d'abondance et de parfaite maturité, pour le faire servir à cet usage. J'inviterai les populations du Midi à reprendre cette intéressante fabrication ».

Or il arriva, lors du blocus continental, que la préparation du sirop de raisin prit tout à coup une grande extension, non pas pour améliorer les moûts, mais pour remplacer, dans l'économie domestique, le sucre qui avait atteint un très-haut prix ([1]). M. Dubrunfaut fait remarquer que si, dès cette époque, on eût suivi le conseil de Chaptal, le sucrage des vendanges, tel qu'on l'a pratiqué depuis, n'eût pas présenté les inconvénients qui se sont manifestés dans son application, et qu'on eût évité ainsi un échec très-mérité. Malheureusement, on donna la préférence au sirop d'amidon. « Aussitôt que l'on eut reconnu, dit l'éminent technologiste que je viens de citer, que la fécule de pommes de terre, traitée par l'acide sulfurique, est transformée en une matière sucrée pouvant fournir des agglomérations cristallines ne se distinguant en aucune manière de celle que l'on trouve dans les raisins secs, ou dans le sirop de moût concentré, on admit l'identité entre le sucre d'amidon et le sucre de raisin ([2]). »

Quoique ce fût une erreur, cette identité fut acceptée. On établit, en Bourgogne, l'industrie du sirop de fécule, qu'on employa au sucrage, pendant vingt ans ([3]), à l'exclusion du sucre de canne ou de betterave, d'abord, pour bonifier les moûts venant de raisins incomplétement mûrs; ensuite, et par extension, pour renforcer en alcool les produits irréprochables des crus les plus renommés ([4]).

([1]) 10 à 12 francs le kilogramme.
([2]) Dubrunfaut, *Sucrage des vins*, p. 18. Paris, 1854.
([3]) De 1825 à 1845.
([4]) Dubrunfaut, *Sucrage des vins*, p. 14.

Évidemment, dans ce dernier cas, c'était là un abus, puisqu'on appliquait un remède à qui n'était pas malade. Aussi, à partir de l'année 1845, « des plaintes surgirent, en France comme à l'étranger, contre les vins de Bourgogne. Un changement notable s'était révélé dans leurs caractères apparents; une saveur particulière était venue déranger les habitudes des consommateurs; les modifications apportées par l'âge revêtaient des formes nouvelles; souvent les vins étaient altérés dans leurs propriétés essentielles, c'est-à-dire dans les transformations qu'ils subissent pendant la *garde* (1) ». La viticulture, le commerce loyal s'émurent nécessairement, et le congrès des vignerons, dans la session qu'il tint à Dijon, en 1845, décréta l'abandon du sucrage, en s'appuyant sur les conclusions adoptées par le comité des négociants et des propriétaires de l'arrondissement de Beaune : « Que le système du sucrage, préconisé depuis longtemps, assez généralement adopté, et contre lequel une réaction s'est opérée depuis quelques années, devrait être complétement abandonné, comme étant funeste à la Bourgogne. Qu'en effet on ne saurait contester que le sucrage dénature les vins, qu'il leur enlève ce qu'ils ont de plus précieux : leur incomparable bouquet, et cette délicatesse qui est leur véritable cachet; qu'il les rend plus vineux, plus échauffants, et en fait restreindre ou abandonner l'usage; tandis qu'il est certain que les vins de Bourgogne, préparés comme autrefois, ne contiennent pas plus d'alcool que les vins de Bordeaux, avec lesquels ils peuvent lutter pour la solidité; qu'un inconvénient, plus grave encore, résulte du sucrage, c'est l'impossibilité de distinguer, en primeur, et même pendant la première année, des caves d'un ordre et d'un climat différent (2). »

---

(1) DUBRUNFAUT, *Sucrage des vins*, p. 13.
(2) DUBRUNFAUT, *Sucrage des vendanges*.

Les viticulteurs n'adhérèrent pas tous à la décision du congrès; il y en eut, parmi eux, qui défendirent le sucrage, en soutenant que les reproches formulés provenaient de ce qu'on l'appliquait aux crus supérieurs dans les bonnes années comme dans les mauvaises, et non pas, ainsi que cela *devait être, aux crus inférieurs,* particulièrement lors d'une maturité imparfaite, afin de rendre potables et marchands des vins qui ne le seraient pas sans cette opération. Quant à M. Dubrunfaut, il attribua surtout les mauvais effets du sucrage à la substitution du sirop de fécule au sucre de canne. D'après ses expériences, le sucre raffiné mis dans le moût est aussitôt transformé en deux matières sucrées : le glucose et la lévulose, constituant par leur réunion un sucre semblable à celui existant dans le raisin et vraisemblablement dans tous les fruits fermentescibles; or la réaction de l'acide sulfurique sur l'amidon développe seulement un des sucres, le glucose, et encore est-il loin d'être le produit constant et unique de la réaction. Ainsi le sirop d'amidon du commerce renferme toujours de la dextrine, souvent en forte proportion et accompagnée de principes dont le goût et l'odeur désagréables sont transmis aux vins. Si, au lieu de faire usage d'une substance aussi complexe, d'une composition aussi variable que le sirop de fécule, on eût eu recours au sucre de canne, si anciennement recommandé par Rouelle, Baumé, Macquer, de Bullion, les vins résultant du sucrage n'eussent point été discrédités, parce que, ajoutait M. Dubrunfaut, « les altérations de saveur et de goût auraient été trop peu marquées pour faire naître des griefs sérieux, et il conclut que le sucrage doit être pratiqué avec du sucre raffiné de canne ou de betterave, introduit à une dose n'augmentant pas beaucoup la richesse alcoolique du vin. Pratiquement, $1^{kg},70$ de sucre produit 1 litre d'alcool absolu, et, dans le plus grand nombre de cas, l'addition ne doit pas excéder celle qui correspond à un développe-

ment de deux à trois centièmes d'alcool, soit 3 à 5 kilogrammes de sucre par hectolitre [1]. »

L'intervention du sucrage dans la vendange ne saurait avoir d'autre résultat que d'augmenter le degré alcoolique du vin; aussi suis-je persuadé qu'avec des raisins verts additionnés de sucre brut Macquer n'a pas obtenu, comme il le croyait, un produit de bonne qualité : c'était une bonne qualité relative, car l'âpreté, l'excès d'acidité ont dû persister après la fermentation.

Le vin, quelle qu'en soit la provenance, est toujours acide, à cause de la présence du bitartrate de potasse, de l'acide succinique et autres acides libres.

L'acidité est une qualité ou un défaut, selon qu'elle est modérée ou exagérée. M. Dubrunfaut n'a pas rencontré de vin dont l'acidité fût inférieure à celle que feraient naître 3 grammes d'acide sulfurique monohydraté dans 1 litre d'eau; quelquefois elle est équivalente à 5 grammes, à 7 grammes et plus d'acide sulfurique par litre; dans le verjus, l'équivalence atteint souvent 20 grammes. Dans les mauvaises années, l'acide peut dominer à tel point, dans le raisin, que les vins cessent d'être potables.

Si le moût renferme peu de sucre, et deux ou trois fois autant d'acide qu'il en contient lorsque la maturité a été convenable, en le sucrant, on y développera bien de l'alcool, mais le vin restera tout aussi acide; l'amélioration ne sera donc que partielle, et, pour l'avoir complète, il est indispensable de diminuer l'acidité, en même temps qu'on augmente le degré alcoolique. Atténuer l'acidité par la saturation, ainsi qu'on n'a pas craint de le proposer, est vraiment impraticable, les bases alcalines ou terreuses formant des sels d'un goût désagréable.

A la vérité, pour le cas où l'acide en excès serait de

---

(1) Dubrunfaut, *Sucrage des vendanges*, p. 21 et 25.

l'acide tartrique libre, il deviendrait possible d'en amoindrir considérablement la proportion, en faisant intervenir le tartrate neutre de potasse, donnant naissance à du bitartrate très-peu soluble et que, par cela même, on réussirait à séparer facilement. On comprendra la réaction en jetant les yeux sur les formules exprimant la constitution de l'acide tartrique bibasique et de ses sels de potasse:

Acide tartrique $C^8H^4O^{10}$, 2 (HO)	150
Tartrate neutre de potasse $C^8H^4O^{10}$, 2 (KaO)	226
Bitartrate de potasse $C^8H^4O^{10}$, HO, KaO	188

On voit qu'en versant du tartrate neutre dans le vin on éliminerait 150 d'acide tartrique, qui formeront 188 de bitartrate à peu près insoluble. En présence d'une forte proportion d'acide tartrique, il pourra même arriver que l'acidité du vin soit amenée à celle qu'il aurait s'il était saturé de bitartrate, soit environ 3 grammes de bisel par litre. Ces 3 grammes de crème de tartre contiendraient 2^{gr}, 29 d'acide $C^8H^4O^{10}$, HO, représentant l'acidité que développerait, dans 1 litre d'eau, 0^{gr}, 63 d'acide sulfurique monohydraté. Ce serait sans doute une acidité trop faible, mais il n'est pas nécessaire de transformer la totalité de l'acide tartrique en bitartrate.

Ce moyen d'élimination de l'acide tartrique libre a été imaginé et appliqué, je crois, par Vitalis. Il est inutile de faire remarquer que le bitartrate précipité serait aisément reconstitué en tartrate neutre devant servir à de nouvelles opérations.

Ce procédé conviendrait si l'excès d'acidité du vin ne dépendait que de l'acide tartrique; mais il n'en est pas ainsi. Indépendamment de l'acide succinique, propre à tout liquide fermenté, il y a dans les vins de l'acide malique, de l'acide acétique et même, parfois, de l'acide lactique, sans compter certains acides éthérés. Généralement l'acide tartrique n'entre que pour un quart, un sixième

de la totalité des acides libres du vin (¹) : c'est ce qui fait que l'emploi du tartrate neutre de potasse pour désacidifier ne donne pas de résultats satisfaisants, au moins dans les vignobles de la région de l'Est, ainsi que je m'en suis assuré; la raison en est bien simple : tous les acides ayant la propriété de faire naître du bitartrate de potasse quand on les introduit dans une dissolution de tartrate neutre, le bisel se formera dans tous les vins, même en l'absence de l'acide tartrique. L'acide, quel qu'il soit, s'emparera toujours de l'un des équivalents de la potasse du tartrate neutre $C^8H^4O^{10}$, 2 (KaO) pour former du bitartrate. La réaction aura naturellement pour effet de diminuer l'acidité du vin, en saturant, comme le ferait une base alcaline quelconque, tous les acides libres, et il ne restera d'autre acide que celui constituant le bitartrate.

Les acides succinique, malique, acétique, lactique, donneront des sels neutres de potasse dont l'existence dans le vin, sous le rapport de la saveur, sera bien autrement désagréable que l'acidité qu'ils manifesteraient avant leur saturation. En définitive, le rôle du tartrate neutre de potasse, rentrant exactement dans celui que remplit un alcali libre ajouté aux vins acides, en présente tous les inconvénients.

Il n'y a réellement qu'un seul moyen de diminuer l'acidité sans introduire des substances sapides : c'est une addition d'eau. Supposons, par exemple, qu'un moût ait deux fois autant d'acide libre que celui donnant du bon vin. Il faut y ajouter un volume d'eau égal au sien, et comme, par cette addition, on affaiblirait la teneur en alcool, il convient, d'après la formule de M. Dubrunfaut, de mettre, dans chaque hectolitre d'eau, autant de fois $1^{kg},70$ de sucre raffiné que l'on veut développer de litres d'alcool absolu.

(¹) Berthelot et de Fleurieu, *Annales de Chimie et de Physique*, 4ᵉ série, t. III, p. 177.

C'est en opérant ainsi, qu'en 1856, année de faibles récoltes et de raisins verts, je suis parvenu à faire un vin potable d'un moût de fort mauvaise qualité. Je décrirai l'opération telle qu'elle a été exécutée sur un fort échantillon des produits, pour se familiariser avec le procédé et en apprécier la valeur.

L'essai, par une liqueur alcaline titrée, indiqua, par litre de moût, une proportion d'acide équivalant à 9 grammes d'acide sulfurique, le double, à peu près, de ce que j'avais dosé dans un vin du même cru, du même cépage, récolté dans des circonstances favorables. Je mêlai, en conséquence, chaque hectolitre de moût avec 1 hectolitre d'eau tenant 20 kilogrammes de sucre blanc. Après la fermentation, dont la marche fut très-régulière, on pressura et l'on mit en fût. Ce vin, sucré et additionné d'une quantité d'eau assez forte pour l'amener à une acidité normale, fut consommé l'année suivante. Le goût en était agréable, l'acidité équivalant à $4^{gr},75$ d'acide sulfurique par litre; la teneur en alcool de 8 pour 100 en volume, ce qui indiquerait qu'il y en avait 4 pour 100 attribuables à la matière sucrée préexistante dans le moût, puisque, théoriquement, le sucre ajouté aurait dû en apporter 6 pour 100 dans le moût étendu d'eau; mais on verra plus loin que le sucre développe toujours moins d'alcool que ne l'indique le calcul.

En définitive, on avait fait une opération avantageuse, en ce sens qu'on transforma un vin que personne n'eût accepté en une boisson convenable.

Quant au prix de revient, il fut assez élevé, en raison de la cherté du sucre; il dépend d'ailleurs de la valeur que l'on assignerait au vin acide dont, dans ce cas particulier, on n'eût pu tirer parti qu'en le brûlant [1].

---

[1] En 1856, en Alsace, le kilogramme de sucre valait $1^{fr},80$.

Admettant, pour l'hectolitre de vin............	8fr
L'hectolitre d'eau, tenant 20 kilogrammes de sucre.	36
Les 2 hectolitres seraient revenus à............	44
Soit l'hectolitre............................	22

Or, en 1857, en Alsace, les vins les plus ordinaires étaient cotés à 50 francs l'hectolitre.

S'il était possible de se procurer du moût de raisin amené à l'état sirupeux et dont le prix ne dépasserait pas celui du sirop de fécule, la désacidification des vins deviendrait une opération aussi profitable que loyale. En se plaçant à ce point de vue, on comprendra que la préparation des moûts concentrés destinés au sucrage des vendanges est une industrie à créer dans les contrées méridionales; il y aurait en outre cet avantage, dans l'intervention de ce produit, qu'il apporterait, avec la matière saccharine destinée à rehausser le degré alcoolique, les autres substances essentielles à la constitution du vin. La vigne est d'ailleurs un des plus grands producteurs de sucre.

Ainsi, par hectare, le sucre élaboré par différentes cultures est :

Canne (Vénézuela)........................	3000kg	(1)
Betterave (Alsace)........................	3000	(2)
Betterave à sucre (Nord).................	5000	
Pomme de terre, en équivalent de glucose...	3780	(3)

Or, dans le Languedoc, les plants de terret ou d'aramon, en sols bien fumés, rendent communément 400 hectolitres de vins de chaudière d'une teneur moyenne, en

(1) Admettant une récolte de 3000 quintaux de racine ayant une richesse de 0,10; dans le département du Nord, betterave à sucre, 49900.

(2) Prenant un rendement de 210 quintaux.

(3) DUBRUNFAUT, *Sucrage des vins*, p. 31.

alcool, de 10 pour 100 en volume, représentant près de 6000 kilogrammes de sucre de fruits.

Déjà, alors qu'il s'occupait de la fabrication du sirop de raisin, Parmentier avait été conduit à envisager la vigne comme le véritable succédané de la canne, parce qu'il admettait qu'aucun fruit, aucune racine, aucune tige, ne pouvait supporter la comparaison avec le raisin sous le rapport de la teneur en principes sucrés ([1]). Il n'y a peut-être que l'*Agave americana*, le Maguey, cultivé au Mexique, pour obtenir la boisson favorite des Aztèques, le pulque, qui donne plus de sucre que la vigne.

Le vin résultant de la fermentation de la séve d'agave, fourni par un hectare, renfermerait, d'après mes recherches, en alcool absolu :

Au minimum.	26^{hl}
Au maximum.	56

	Sucre.
Dans le premier cas, on aurait, par hectare. .	4040^{kg}
Dans le second cas.	8700
Moyenne	6370 ([2])

Ce sucre est surtout de la saccharose, non pas du sucre interverti ; on l'extrait à l'état cristallin de la séve quand on ne la fait pas fermenter.

Que le sucrage soit opportun quand on l'applique à des vendanges qui donneraient des vins dépréciés à cause de leur verdeur et de leur pauvreté en alcool, cela est incontestable ; en dehors de ces conditions, il est douteux qu'il y ait avantage à y avoir recours. Les vins trop peu acides,

---

([1]) PARMENTIER, *Instruction sur les moyens de suppléer le sucre dans ses principaux usages* (*Annales de Chimie et de Physique*, 1re série, t. LXVIII, p. 106.

([2]) BOUSSINGAULT, *Sur le pulque*. (*Agronomie, Chimie agricole et Physiologie*, 2e édition, t. IV, p. 19.)

assez aqueux pour ne tenir que $\frac{3}{100}$ à $\frac{4}{100}$ d'alcool, n'en deviendraient pas meilleurs : ils resteraient tout aussi plats, en devenant plus spiritueux; ils se rapprocheraient du produit de la fermentation d'un moût ne contenant autre chose que du sucre, du *guarapo* venant du vésou exprimé de la canne, boisson assez appréciée, mais n'ayant aucune des qualités qu'on rencontre dans le vin.

Je crois que l'abus du sucrage n'a jamais été poussé aussi loin que dans une opération exécutée il y a quelques années, avec une singulière assurance, en vue de quintupler le rendement d'une récolte; et, qu'on le remarque bien, il ne s'agissait pas d'améliorer un vin qui eût été défectueux. Voici le procédé, tel que je le trouve décrit dans une publication sérieuse :

« On a extrait de la cuve, aussitôt après le foulage des raisins [1], tout le liquide qui en a pu sortir librement. On en a obtenu un vin blanc légèrement teinté, très-fin et très-bon : on a eu, de la sorte, les trois quarts de ce qu'on aurait retiré si l'on avait pressuré le marc.

» Le moût non fermenté, écoulé, a été remplacé dans la cuve par un volume d'eau égal au sien, additionné de 18 kilogrammes de sucre blanc pour chaque hectolitre : il en est sorti 45 hectolitres; on ajouta 45 hectolitres d'eau sucrée : après avoir laissé fermenter sur marc pendant trois jours, on a retiré 50 hectolitres de vin rouge.

» Les 50 hectolitres de vin ont été remplacés dans la cuve par 55 hectolitres d'eau sucrée à raison de 22 kilogrammes par hectolitre : après fermentation, au bout de quarante-huit heures, on a retiré 55 hectolitres de vin, que l'on a remplacés par 55 hectolitres d'eau sucrée à raison de 25 kilogrammes par hectolitre. Deux jours après, on a retiré, en pressurant le marc, 60 hectolitres de

[1] Pineau noir.

liquide. Le marc pressuré a été reporté dans la cuve avec 35 hectolitres d'eau sucrée; après fermentation, on a retiré 30 hectolitres de liquide.

» Le vin blanc naturel non cuvé, obtenu en premier lieu par le foulage, avait été mis dans des futailles, en ne les remplissant qu'à moitié. Douze heures après, le remplissage fut achevé avec de l'eau sucrée, dont on employa 45 hectolitres. »

En récapitulant les phases de l'opération, on trouve, pour l'eau ajoutée et le vin retiré :

Eau sucrée introduite.

			hl
1re	addition		50
2e	»		55
3e	»		55
4e	»	sur le marc	35
5e	»	au vin de goutte	45
			240

Vins obtenus après le sucrage.

			hl
1er	produit		50
2e	»		55
3e	»		60
4e	»	après addition d'eau sur le marc et pressurage	30
5e	»	vin venant du foulage	90
			285

On voit qu'en faisant intervenir 240 hectolitres d'eau sucrée on a eu 285 hectolitres d'une cuvée de pineau rouge dont on aurait obtenu, sans cette intervention, on pourrait dire sans cette inondation, 60 hectolitres seulement.

Suivant l'inventeur, le vin préparé par la fermentation de l'eau sucrée sur le marc après l'écoulement du vin de goutte aurait été supérieur au vin naturel. Il est permis d'en

douter. On ne lui reprochait autre chose qu'une acidité trop faible. On est en droit de s'étonner qu'il ait encore manifesté une réaction acide après de semblables ablutions. Qu'on se procure ainsi une boisson d'une odeur vineuse, une tisane alcoolisée, c'est possible. Ce que je ne crois pas, c'est que l'eau puisse être changée en vin à moins, bien entendu, que ce ne soit par un miracle. Quoi qu'on ait dit, dans le produit de ce sucrage, les principes immédiats du raisin, tels que la crème de tartre, le tannin, l'arome étaient nécessairement noyés dans la masse énorme d'un liquide qui n'en contenait plus que des proportions trop minimes pour avoir la saveur, les propriétés hygiéniques qu'on estime dans le vin. En somme, par ce sucrage exagéré, on n'a dû faire autre chose qu'une sorte de piquette.

La *piquette*, le *revin* ou *buvande* est préparé dans les vignobles en jetant de l'eau sur le marc pressuré; et, depuis fort longtemps, on l'améliorait, en lui donnant plus de corps par l'adjonction de matières sucrées; autrefois c'était le miel ordinaire qu'on employait, 2 ou 3 livres pour 100 pintes de boisson et, dans quelques localités, pour en atténuer l'insipidité, on y mettait une certaine dose de crème de tartre.

Le sucrage, pour rehausser le degré alcoolique des vins, ou pour en atténuer la verdeur, n'a réellement sa raison d'être que lorsque les vendanges sont insuffisantes ou de qualité défectueuse; néanmoins, je remarque que, depuis l'année 1856, où l'on eut l'occasion très-motivée de l'appliquer en Alsace et dans le Palatinat, on continue à sucrer, non pas les moûts, quand ils n'en ont pas besoin, mais souvent les marcs des meilleurs raisins.

L'opération tend à se généraliser chez les cultivateurs, afin de se procurer une boisson alcoolique pouvant remplacer le cidre; ainsi, cette année 1875, où la récolte de la vigne n'a laissé rien à désirer sous le rapport de la quan-

tité et de la qualité, j'ai vu sucrer les marcs, ainsi qu'on le faisait précédemment dans des circonstances moins favorables, lorsqu'on ne préférait pas les distiller.

Afin d'être à même de juger la valeur du sucrage des marcs, j'ai institué une expérience sur des quantités assez limitées de matières pour qu'il fût possible de peser et de mesurer exactement. On opéra sur un pineau noir de Lampertsloch. Le raisin fut foulé le 25 septembre. La fermentation active était terminée le 30. On pressura.

On obtint 280 litres de vin rouge fortement coloré, d'une densité de 0,995, dans lequel on dosa

	Dans 1 litre pesant 999gr,50.	Dans 1000 grammes.
Alcool en volume, 110 centimètres cubes, en poids.	gr 87,42	gr 87,46 (1)
Matières fixes..........	20,00	20,10
Par différence, eau......	892,08	892,44
	999,50	1000,00

En sortant du pressoir, le marc pesait..........	kg 69,75
Contenant, matières fixes..................	31,23
Par différence, eau et alcool (2)...............	38,52

Cette quantité d'eau et d'alcool, pour constituer du vin, exigeait :

Matières fixes..................	kg 0,76
	38,52
Vin resté dans le marc...........	39,28

Le poids du vin extrait par le pressurage étant, d'après la densité, de..................	kg 279,86
Vin retenu dans le marc..................	39,28
Vin contenu dans le moût fermenté............	319,14

dont les 0,12 n'avaient pas été extraits par le pressurage.

---

(1) On a pris pour la densité de l'alcool absolu à + 15 : 0,7947.

(2) En négligeant les autres substances volatiles contenues dans le marc.

Sucrage du marc.

Sur les $69^{kg},75$ de marc pressuré, on versa 280 litres d'eau tenant en dissolution 45 kilogrammes de sucre raffiné.

La fermentation devint bientôt très-vive; quand elle cessa, on laissa écouler, puis on pressura.

On retira 294 litres d'un vin peu coloré, d'une densité de 1,000, dans lequel on dosa :

	Dans 1 litre pesant 1000 grammes.
Alcool, en volume 85 centimètres cubes, en poids.	$67^{gr},55$
Matières fixes	12
Par différence, eau	920,45
	1000,00

Le marc a pesé	$66^{kg},50$
Il contenait, matières fixes	29,44
Par différence, eau et alcool	37,06

Cette quantité d'eau et d'alcool, pour constituer du vin, exigeait :

Matières fixes	$0^{kg},44$
	37,06
Vin resté dans le marc	37,50

C'est, à 1 kilogramme près, ce qu'avait retenu le marc du moût fermenté; on peut donc négliger le vin resté dans les marcs et rechercher l'alcool développé par les 45 kilogrammes de sucre que l'on a fait intervenir.

Ces 55 kilogrammes de sucre raffiné représentent $47^{kg},367$ de sucre de fruits, ou sucre interverti.

D'après l'équation

$$C^{12}H^{12}O^{12} = 2\,(C^4H^6O^2) + 4\,(CO^2),$$

1 kilogramme de sucre de fruits devrait donner $0^{kg},511$ d'alcool absolu.

Par conséquent, on aurait dû avoir, alcool, $24^{kg},21$, soit, en volume, $30^{lit},464$. Or, dans les 294 litres de vin retirés par le pressurage, il s'y trouvait, d'après l'analyse :

	lit
Alcool..............	25,00
Alcool calculé........	30,45
Différence.......	5,46

On aurait obtenu environ les $\frac{82}{100}$ de l'alcool théorique. Au reste, on sait, par les travaux de M. Pasteur, que, dans la fermentation, 1000 de sucre interverti ne rendent jamais 511 d'alcool, il en manque toujours quelques centièmes. Cela tient à ce que la levûre ne se borne pas à dédoubler le sucre en alcool et acide carbonique ; il y a une production normale d'acide succinique, de glycérine, et, subsidiairement, par l'action de ferments, tels que le *mycoderma aceti*, le *mycoderma vini*, dont il est difficile d'empêcher l'action dans les moûts, il y a destruction, combustion d'alcool.

A cause des produits constants développés par la levûre, la quantité d'alcool obtenue est donc nécessairement inférieure à celle que devrait donner le sucre conformément à l'équation, et par l'intervention plus ou moins prononcée des ferments destructeurs, la différence est quelquefois considérable : c'est ce qu'a constaté M. Joseph Boussingault dans une suite de recherches sur la fermentation des fruits sucrés, pratiquée dans les conditions ordinaires.

Ainsi, en exprimant par 100 l'alcool absolu que devait fournir le sucre contenu dans le fruit mis à fermenter, on a retiré :

	Alcool.
Du raisin blanc de Lampertsloch.........	91
» rouge »	91

	Alcool.
Des pommes à cidre	89
»	90
»	86
»	89
Des merises à kirsch	92
Des cerises noires	88
Des prunes mirabelles	48
»	71
Des prunes Zwetschen en nature	91
Du jus des prunes Zwetschen	94
Des myrtilles	78
Des sorbes du sorbier des oiseleurs	90
Du miel	91

Dans le sucrage du marc, le manquant en alcool n'a pas été plus fort que dans la fermentation de certains fruits. 1 kilogramme de sucre de canne a donné $\frac{25^{\text{lit}}}{45^{\text{kg}}} = 0^{\text{lit}},555$ d'alcool, au lieu de $0^{\text{lit}},677$ indiqué par la théorie.

En d'autres termes, pour obtenir 1 litre d'alcool absolu, le degré alcoolique des vins, il faudrait, d'après l'équation, $1^{\text{kg}},477$ de sucre ; dans l'expérience, il en a fallu $1^{\text{kg}},802$, approchant du nombre 1,7 adopté par M. Dubrunfaut, mais qui s'éloigne notablement du nombre théorique. En comparant $1^{\text{kg}},477$ à $1^{\text{kg}},802$, on reconnaît qu'il y a eu $0^{\text{kg}},325$ de sucre, qui n'ont pas été représentés en alcool dans le produit de la fermentation, soit 18 pour 100. C'est une perte considérable en matière sucrée non utilisée, et que j'ai vue se reproduire dans une opération par laquelle on a préparé 30 hectolitres de vin de marc.

Dans certaines situations, le sucrage appliqué aux marcs peut avoir des avantages sur sa distillation. Le prix du sucre raffiné étant de $1^{\text{fr}},20$ le kilogramme, comme il l'est aujourd'hui, l'hectolitre revient à 18 francs.

La boisson était peu colorée ; en en comparant la com-

position à celle obtenue du moût fermenté, on voit en quoi elle diffère du vin.

	Alcool en volume.	Alcool en poids.	Matières fixes.	Eau.	Acide par litre exprimé en acide sulfurique.
	cc	gr	gr	gr	
Vin du moût fermenté...	110	87,42	20,00	892,58	5,21
Vin du sucrage du marc.	85	67,55	12,00	920,45	3,60
Différences...	−25	−29,87	−8,00	+27,87	−1,59

Le vin de marc était moins alcoolique; il ne contenait pas autant de matières fixes, partant moins de crème de tartre que le vin du moût. L'odeur vineuse y était moins prononcée; il manquait d'astringence, et ne renfermait pas autant d'acide; toutefois, la proportion était supérieure à celle qui s'y serait trouvée s'il n'y avait pas eu formation d'acide pendant la fermentation. Ainsi, après le pressurage, le marc employé retenait... $37^{lit},5$ de vin, ayant une acidité exprimée $195^{gr},38$.

On avait mis sur le marc, eau sucrée. 280 0

$317^{lit},5$

$$\text{Acide dans 1 litre} = \frac{195,38}{317,50} = 0^{gr},615$$

Dans le litre du vin de marc acide 3,600

Acide développé par litre....... 2,985

Cette acidité est inférieure à celle du vin naturel retiré du même raisin; mais il manque au vin de marc une grande partie des substances fixes, des principes aromatiques entrant dans la constitution du vin du moût; c'est néanmoins une boisson dont on tire un parti avantageux; pour beaucoup de personnes, elle est préférable au cidre; il convient, je crois, de la désigner sous le nom de *piquette alcoolisée;* elle ne diffère, en effet, de la piquette ordinaire que par une teneur plus élevée en alcool.

DE

L'ACTION DU FROID SUR LE LAIT

ET LES PRODUITS QU'ON EN TIRE;

PAR

M. Eug. TISSERAND.

De nombreuses recherches ont été déjà faites pour déterminer la composition chimique du lait des diverses espèces animales et fixer sa constitution physique.

L'objet de cette Note n'est pas de tracer l'historique de la question, mais de présenter quelques faits de nature à intéresser l'industrie rurale et plus particulièrement celle des cultivateurs qui s'occupent de la production du lait et de la conversion de ce produit en beurre ou en fromage.

I. Lorsque l'on soumet immédiatement après la traite, ou peu de temps après cette opération, le lait d'une vache à des températures différentes comprises entre zéro et 36 degrés et qu'on le maintient pendant vingt-quatre ou trente-six heures à la même température initiale, on constate les faits suivants :

1° La montée de la crème est d'autant plus rapide que la température à laquelle a été exposé le lait se rapproche plus de zéro.

2° Le volume de crème obtenu est plus grand lorsque le lait a été soumis à un plus fort refroidissement.

3° Le rendement en beurre est aussi plus considérable, quand le lait a été exposé à une température très-basse.

Enfin, 4° le lait écrémé, le beurre et le fromage sont de meilleure qualité dans ce dernier cas.

Pour démontrer l'exactitude de ces faits, il n'y a qu'à répéter l'une des nombreuses expériences faites, depuis plusieurs années, en France et dans le nord de l'Europe.

Le lait est, immédiatement après la traite, passé au tamis de crin, puis versé dans des éprouvettes graduées de façon à y occuper le même volume. Ces éprouvettes, placées dans des bains d'eau de températures constantes, mais différentes, sont observées à des intervalles de temps égaux, afin de constater les volumes de crème obtenus.

Voici quelques-uns des faits que nous avons constatés.

EXPÉRIENCES FAITES EN HIVER.

Expérience sur le lait d'une vache bretonne à la fin du mois de novembre.

Trois éprouvettes ont reçu chacune 200 centimètres cubes de lait de la traite du matin : l'éprouvette n° 1 a été placée dans un bain d'eau maintenu à la température de 22 degrés C.; l'éprouvette n° 2 dans un bain à 15 degrés C., et la troisième dans un bain dont la température était de 2 degrés.

Les volumes de crème obtenus dans chacune de ces éprouvettes sont consignés dans le tableau ci-contre :

HEURES D'OBSERVATIONS.	VOLUMES DE CRÈME OBTENUS DE 200cc DE LAIT maintenus aux températures de		
	22° C. éprouvette n° 1.	15° C. éprouvette n° 2.	2° C. éprouvette n° 3.
	cc	cc	cc
Après 1 heure de repos..	4 (1)	7	29
» 2 heures de repos..	5	11	25,5
» 3 »	6 (2)	12,5 (2)	24
» 4 »	7	12,5	22
» 5 »	7	12,25	21,5
» 6 »	7,25	12	20,5
» 7 »	7,5	12	20,5
» 8 »	7,5	12	20
» 9 »	7,5	12	20
» 13 »	10	12	19
» 24 »	11,5 (3)	13 (3)	17,5
» 27 »	11,5	14	17,5
» 28 »	11,5	14	17,5
» 29 »	11,5	14	17,5
» 30 »	11	13	17,5
» 31 »	11	13	17,5
» 32 »	11,5	13,75	17,5
» 33 »	11,5	13,75	17,5
» 36 »	11	13,5	17
» 48 »	11	13	17
» 52 »	11	12,3	17

(1) La séparation de la crème n'est pas bien marquée dans les éprouvettes nos 1 et 2; elle est très-nette dans l'éprouvette no 3.

(2) La couche de crème est nettement marquée dans les éprouvettes nos 1 et 2.

(3) Pendant la nuit, la température des éprouvettes 1 et 2 est descendue, la première à 16 degrés, la seconde à 12 degrés; le matin, la température a été ramenée à la température initiale.

EXPÉRIENCES FAITES AU PRINTEMPS.

Dans une autre série d'expériences, que nous résumons, nous avons obtenu, après *dix heures de repos*, les quantités de crème qui suivent :

1° Dans une éprouvette dont le lait a été constamment maintenu à 3° C. . . . . 19 °/₀ de crème.
2° Dans une éprouvette maintenue à 8° C. 14,5 »
3° » 11° C. 12,8 »
4° » 16° C. 11,0 »
5° » 30° C. 8,0 »

EXPÉRIENCES FAITES EN ÉTÉ.

Nous résumons ci-dessous les résultats de la dernière expérience faite; nous avons opéré, en Alsace-Lorraine, sur le lait d'une vache fribourgeoise en plein lait :

NUMÉROS des éprouvettes	TEMPÉRATURES auxquelles ont été refroidies les éprouvettes et auxquelles elles ont été maintenues pendant vingt-quatre heures consécutives.	VOLUME DE CRÈME obtenu de 100 litres de lait	
		après douze heures de repos.	après vingt-quatre heures de repos.
	o C.		
1....	2	16	14,5
2....	3	15	14
3....	4	14	13,5
4....	7	13,6	12,8
5....	10	9,8	11,2
6....	11	8,6	10,5
7....	12	9	9,9
8....	20	5,7	6,5
9....	26	5,5	6

Le lait contenu dans des éprouvettes exposées à l'air libre se comporte comme celui qui se trouve dans une éprouvette immergée dans un bain d'eau ayant la même température.

Nous pourrions citer un plus grand nombre d'expériences sur ce sujet : toutes accusent les mêmes effets, quels que soient le pays où l'on opère et la race qui fournit le

lait; les chiffres varient quant aux volumes de crème obtenus, mais les proportions relatives dues à l'influence des températures sont à peu près constantes.

Il résulte de l'ensemble de ces expériences : 1° que la séparation de la crème est presque complète au bout d'une heure quand le lait a été refroidi à 2 degrés après la traite; la montée de la crème est d'autant plus rapide que toute la masse du lait prend plus vite la température du bain : c'est au bout de une à deux heures de repos qu'on obtient le plus grand volume de crème quand on fait intervenir la glace dans le refroidissement du lait, de façon à arriver à 2 degrés. A ce moment, la crème est très-légère, très-fluide; abandonnée à elle-même, la crème se concentre, s'épaissit et diminue de volume.

2° Il faut, en moyenne, de cinq à six heures pour obtenir la couche maximum de crème quand le lait est refroidi à 4 ou 5 degrés, et ce n'est qu'au bout de neuf heures qu'on y arrive quand le lait est traité à 7 ou 8 degrés.

3° Il faut au lait maintenu à 15 degrés vingt-quatre heures pour donner toute la crème qui doit monter, et vingt-sept ou vingt-huit heures aux températures plus élevées.

Quand on observe, non plus des éprouvettes, mais des brocs de lait de 20 litres et plus, le refroidissement de la masse est plus lent; il faut vingt-quatre heures pour que le lait refroidi à 6 degrés donne toute sa crème, et trente-six heures au moins au lait abandonné au repos à la température de 14 à 15 degrés; avec un refroidissement de 2 degrés, une douzaine d'heures suffisent.

En traitant le lait à basse température, on peut donc faire l'écrémage quelques heures après la traite; il n'est nullement besoin d'attendre trente-six heures, comme on est obligé de le faire avec la méthode actuelle.

On n'obtient pas seulement plus de crème en refroidissant énergiquement le lait après la traite, on en tire encore

plus de beurre. Il résulte, en effet, d'une analyse que nous devons à l'obligeance de M. Roussille, l'habile et zélé professeur de Chimie à l'École d'Agriculture de Grandjouan, que 100 parties de lait écrémé provenant de l'éprouvette n° 1, maintenus pendant cinquante-deux heures à la température de 22 degrés, renfermaient 0,944 de matières grasses, tandis que le lait écrémé de l'éprouvette maintenue pendant le même temps à 15 degrés en contenait 0,760, et celui qui a été soumis à la température de 2 degrés 0,292.

La crème a enlevé au lait :

Dans le premier cas....	79,02	pour 100 de sa matière grasse.
Dans le deuxième cas..	83,11	»
Dans le troisième cas...	93,51	»

Ce résultat a été corroboré par une expérience directe dans une série d'observations faites avec le lait d'une même vacherie ; il a été constaté qu'il fallait, pour avoir 1 kilogramme de beurre,

De 21 à 22 litres de lait refroidi et maintenu à	2°	pendant 13 heures	
23 à 24	»	4	»
25	»	6	»
25 à 26 ½	»	9	»
27 à 28	»	11	»
28 à 32	»	14	»
34 à 36	»	22	»

En moyenne, le lait refroidi à 3 ou 4 degrés donnerait 10 pour 100 de beurre en plus que le lait conservé pour l'écrémage à 14 degrés et au-dessus.

M. Dahl, directeur de l'École d'Agriculture d'As, en Norvége, nous a rapporté avoir obtenu, d'une expérience faite en grand, avec la crème de 3204 litres de lait maintenu pendant trente-six heures à la température de 3 à 4 degrés C., 121kg,800 de beurre, soit 1 kilogramme

de beurre par 26 $\frac{1}{2}$ litres de lait, tandis que 862 $\frac{1}{3}$ litres de lait de même provenance, mais tenus à la température de 18 degrés C., ne lui ont donné que 30 $\frac{1}{2}$ kilogrammes ou 1 kilogramme par 28 $\frac{1}{3}$ litres de lait.

L'écart de rendement eût été encore plus grand si, au lieu de laisser le lait crémer trente-six heures et quarante-huit heures, on l'eût écrémé après vingt-quatre heures et surtout après douze heures, comme le permet le refroidissement [1].

L'action du froid sur la qualité du lait et des produits qui en dérivent n'est pas moins remarquable ; on sait déjà que, pour empêcher le lait de *tourner* pendant les chaleurs, l'un des meilleurs moyens consiste à le refroidir avec de la glace ; pour lui faire parcourir de grandes distances sans altérer ses qualités et son goût, en vue de l'approvisionnement des villes, le refroidissement est encore l'un des plus efficaces procédés.

L'examen des éprouvettes de la première série de nos expériences révèle ce qui se passe pour la crème et pour la caséine quand le lait est soumis à des températures différentes.

Au bout de cinquante-deux heures, la crème de l'éprouvette n° 3 (refroidie à 2 degrés) était restée parfaitement douce, d'un goût fin et agréable ; elle était de consistance légère, fluide et avait le parfum des crèmes de premier choix ; sa couleur était blanche, avec une légère nuance rosée. La crème formée pendant les douze premières heures est si légère qu'une simple agitation avec une ba-

---

[1] M. Dahl, dans une autre expérience faite sur 144 kilogrammes de lait refroidi et maintenu à 4 degrés C., a tiré

kg
5,300 de beurre de la crème levée au bout des douze premières heures,
0,170 de beurre de la crème levée douze heures plus tard,
0,060 de beurre de la crème levée douze autres heures plus tard,

c'est-à-dire au bout de trente-six heures.

guette suffit pour l'émulsionner de nouveau et reconstituer un lait pur, ayant toutes les qualités du lait frais. Le lait de l'éprouvette n° 2, qui a été exposée à la température de 15 degrés, a donné une crème moins légère, moins fluide, mais aussi moins fine et moins délicate au goût; à la trente-sixième heure d'observation, elle était aigre et il s'en échappait une légère odeur de rance qui n'a fait qu'augmenter jusqu'à la fin de l'expérience : sa couleur était jaunâtre.

La crème de l'éprouvette n° 1 (à 22 degrés) était épaisse; à la douzième heure d'observation, il s'en dégageait déjà une odeur désagréable; au bout de vingt-quatre heures, elle présentait les caractères d'une vieille crème; à la trente-sixième heure, sa saveur était piquante et amère, et son odeur infecte; à la fin de l'expérience, sa consistance était butyreuse et sa couleur jaune sale; elle présentait à sa surface une pellicule pâteuse formant un ménisque concave très-prononcé.

Quant au lait sous-jacent à la colonne de crème, et qui n'était autre que du lait privé de sa crème, il était resté dans l'éprouvette n° 3 (à 2 degrés) d'excellente qualité; sa couleur était d'un beau blanc opalescent, sa saveur exquise; il était agréable à boire à ce point qu'on ne l'aurait pas cru écrémé. Le lait des éprouvettes maintenues aux températures de 15 et 22 degrés était aussi d'une couleur opalescente, mais la nuance n'était plus la même que dans le premier cas; elle était un peu terne, moins translucide; le goût de ce lait était aigre et peu agréable; au bout de trente heures, il s'en dégageait, surtout du lait maintenu à 22 degrés, une odeur repoussante qui rappelait celle du lait avarié.

Dans la deuxième série de nos expériences (en été), le lait des éprouvettes 1, 2 et 3 était resté doux; au bout de vingt-quatre heures, il était encore excellent, tandis que celui des éprouvettes exposées à 16 et à 30 degrés était

devenu aigre et s'était coagulé; dans la première éprouvette (16 degrés), au bout de dix heures, et dans la deuxième (30 degrés), au bout de six heures : le temps, il est vrai, était lourd, très-chaud et orageux.

Toutes les autres expériences nous ont donné des résultats analogues.

Enfin le beurre provenant de la crème du lait fortement refroidi a toujours été trouvé plus fin, plus délicat et d'une consistance plus ferme, tout en étant plus onctueux au toucher que le beurre prevenant de la crème de lait non refroidi ou insuffisamment refroidi (13 à 20 degrés). Il jouit surtout d'une propriété qui doit le faire rechercher par les ménagères, celui de se conserver frais plus longtemps [1]. Le *fromage maigre* participe aussi à ces avantages; celui qui provient du lait énergiquement refroidi ou simplement abaissé à la température de 4 à 6 degrés est d'une qualité supérieure; il fermente plus régulièrement, se fait mieux et le goût en est plus fin.

II. *Examen microscopique du lait.* — Ces divers faits, déduits de très-nombreuses expériences, sont faciles à expliquer : lorsque l'on examine en effet une goutte de lait de vache au microscope, on constate qu'elle est formée d'une multitude de globules flottant dans un liquide transparent : ces globules sont la matière grasse du lait, et le liquide le sérum. Ces globules ne sont pas tous de la même dimension; on en voit dont le diamètre est de $0^{mm},01$, d'autres ont $0^{mm},005$, les plus petits mesurent à peine $0^{mm},0016$ de diamètre; ces derniers sont de beaucoup les

(1) Les laiteries des environs de Copenhague (Danemark), qui refroidissent leur lait à 6 ou 7 degrés et barattent la crème obtenue ainsi à 10 degrés C., fournissent un beurre non-seulement remarquable par sa finesse et faisant prime sur le marché, mais encore susceptible de se transporter aux plus grandes distances et de passer l'équateur sans altération; ce serait le seul qui arriverait actuellement en parfait état en Chine et au Japon.

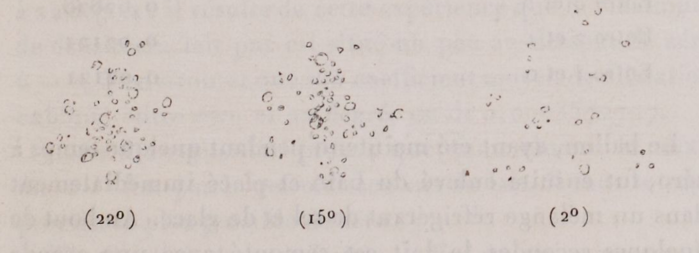
plus nombreux; pour 10 gros globules, nous avons compté 36 globules moyens et 119 petits. La quantité de globules en suspension dans le lait est telle qu'il n'y en a pas moins de 450 000 de toutes grandeurs dans une goutte de lait de 1 milligramme et leur poids varie de $0^{mg},00000049$ à $0^{mg},000000000165$. Ils présentent d'assez grands intervalles entre eux; réunis et serrés les uns contre les autres, les globules du lait n'occupent que de 7 à 8 pour 100 du volume total du lait dans lequel ils flottent, comme on peut aisément le calculer.

Les globules n'ont pas la même densité que le lait; cette densité est inférieure à celle de l'eau, elle est comprise entre 0,94 et 0,95, tandis que celle du sérum est un peu supérieure à celle de l'eau; enfin les globules du lait ont une consistance huileuse à la température de 36 degrés; à 18 degrés, ils sont mous; à 12 degrés, ils commencent à durcir.

Quand le lait est laissé en repos pendant un temps suffisant, les globules montent à sa surface en vertu de la différence de leur densité avec celle du sérum; leur force ascensionnelle est évidemment d'autant plus grande que l'écart entre leur densité et celle du sérum est plus fort, et la vitesse d'ascension croît uniformément avec l'espace parcouru suivant la loi de la chute des corps; le mouvement de bas en haut du globule est uniformément accéléré. Or, quand le lait est soumis à une température très-basse, le sérum se contracte et sa densité augmente; les globules, de leur côté, durcissent, et le microscope n'indique pas de changement appréciable dans leur volume; leur force ascensionnelle augmente par le fait, et la vitesse du mouvement de bas en haut augmente à chaque instant pendant le trajet parcouru : les gros globules montent les premiers, repoussant devant eux les petits globules et entraînant même une certaine masse de matière caséeuse qui s'en séparera ensuite par un repos prolongé; les moyens et les

petits globules ne tardent pas eux-mêmes à prendre part au mouvement ascensionnel. De là : 1° montée immédiate de la crème pendant la première heure avec un fort refroidissement, et 2° diminution de volume pendant les quelques heures qui suivent; de là encore, comme application, utilité d'avoir recours à des vases à crémer en métal, c'est-à-dire bons conducteurs de la chaleur, afin que le lait prenne le plus rapidement possible la température du bain.

L'examen microscopique du lait écrémé prouve bien d'ailleurs que les choses se passent ainsi et concorde avec les données de l'analyse; le microscope nous montre en effet qu'il reste encore beaucoup de globules de toutes dimensions dans le lait écrémé des éprouvettes qui n'ont pas été refroidies, tandis qu'il n'y en a plus qu'un petit nombre dans le lait écrémé provenant des éprouvettes soumises à une basse température. Les gros globules ne s'y voient plus ou sont très-rares; on n'en trouve plus que de petits. Les dessins ci-dessous représentent les aspects qu'offraient



(22°) (15°) (2°)

dans le champ du microscope les laits écrémés des éprouvettes 1, 2 et 3 de la première série des expériences rapportées plus haut.

III. *Détermination du maximum de densité du lait.* — Si le sérum du lait se comportait comme l'eau, ce serait évidemment à 4 degrés qu'il conviendrait de refroidir le lait pour obtenir la montée la plus rapide et la plus abon-

dante de crème, mais les expériences citées plus haut montrent qu'il n'en est pas ainsi, puisqu'à 2 degrés la séparation est plus complète qu'à 4 degrés.

Ce fait nous a conduit à rechercher la température à laquelle correspond le maximum de densité de la partie liquide du lait; pour faire cette détermination, j'ai encore eu recours à l'obligeance de M. Roussille, qui a bien voulu se charger des détails de l'expérience. Un petit ballon muni d'un tube de verre engagé dans son col à l'aide d'un bouchon a été rempli de lait pur à 22 degrés jusqu'à l'orifice supérieur du tube. L'appareil a été ensuite placé dans un bain d'eau à 7 degrés qu'on a refroidi progressivement et de façon que le lait qu'il contenait prît la température du bain : la colonne liquide contenue dans le tube a baissé par suite de la contraction du lait; la baisse a été rapide d'abord, puis plus lente :

Entre 6° et 5°	la contraction apparente a été de	$0^{cc},0707$
Entre 5 et 4	»	0,06363
Entre 1 et 3	»	0,03535
Entre 3 et 2	»	0,02828
Entre 2 et 1	»	0,02121
Entre 1 et 0	»	0,02121

Le ballon, ayant été maintenu pendant quelque temps à zéro, fut ensuite enlevé du bain et placé immédiatement dans un mélange réfrigérant de sel et de glace. Au bout de quelques secondes le lait est remonté avec une grande vitesse dans le tube et a fini par se déverser par son orifice supérieur. A ce moment la température du lait au centre du ballon était de $-0^{o},3$; sur sa paroi interne, il s'était formé une pellicule de glace qui n'avait pas $\frac{1}{2}$ millimètre d'épaisseur.

La capacité du ballon à la température de 4 degrés a été trouvée de $137^{cc},577$; le coefficient de dilatation cubique

du verre étant de 0,0000276, la capacité du ballon était donc :

A 22 degrés	$137^{cc},645$
A zéro	137,561
Différence.	0,084

La hauteur du tube de l'appareil vidé par contraction a été de $0^{m},140$ et, l'aire intérieure de ce tube étant de $0^{cq},0707$, il s'ensuit que le volume du vide apparent dû à la contraction a été de . . . . $0^{cc},990$

Le volume du vide dû à la contraction du verre étant de . . . . 0 ,084

La contraction totale du lait a été de . . . . . $1^{cc},074$

Par conséquent $137^{cc},645$, à la température de 22 degrés, sont devenus à la température de zéro $136^{cc},571$, ou, si l'on veut, 1 de lait à zéro devient 1,00786 à 22 degrés.

Dans les mêmes conditions, Depretz a trouvé que 1 volume d'eau à 4 degrés devient 1,0001269 à zéro et 1,00222 à 22 degrés ; il résulte de cette expérience que le maximum de densité du lait pur est situé un peu au-dessous de zéro à — 0,3 environ et que son coefficient moyen de dilatation cubique entre zéro et 22 degrés est de 0,00035727227.

Cette détermination prouve que, pour obtenir le maximum d'effet par le refroidissement du lait, il faut se rapprocher le plus possible de zéro.

IV. *Qualité des produits.* — En ce qui concerne la qualité qu'acquièrent le lait, le beurre et la caséine par le traitement du lait à basse température, nos expériences ne sauraient évidemment en donner l'explication : les belles découvertes de M. Pasteur sur les ferments, sur leur origine, sur les circonstances qui favorisent ou arrêtent leur développement, sur les altérations qu'ils produisent dans les milieux où ils se trouvent, nous semblent

avoir ici leur application. Il est assez probable, ainsi que nous le faisait remarquer M. Boussingault, que le refroidissement énergique arrête l'évolution des organismes vivants qui constituent les ferments et empêche de se produire les altérations dues à leur action : ce traitement déterminerait dans le lait des effets analogues à ceux qui se manifestent dans la fabrication et la conservation, à basse température, de la bière de Vienne, si remarquable par sa qualité; il y a là au reste un vaste champ de recherches à explorer : nous n'avons voulu que l'indiquer pour le moment.

Quoi qu'il en soit, les faits qui précèdent suffisent pour démontrer combien sont erronées les idées qui ont cours en France sur l'écrémage du lait et sur la fabrication du beurre, à savoir qu'il faut tenir le lait destiné à être écrémé à la température de 12 à 14 degrés et ne pas aller au-dessous de cette température, parce qu'alors la crème monte mal, etc., etc.; les applications à en tirer sont nombreuses : elles se déduisent d'ailleurs assez d'elles-mêmes pour que nous n'ayons pas à y insister.

Le lait de nos vaches est généralement d'une qualité supérieure; mais, à l'exception de quelques départements, on n'en tire presque partout que des beurres plus ou moins défectueux à conserver. Pour avoir des produits supérieurs, il faut réaliser deux conditions : une propreté extrême et le traitement du lait par le froid.

On conçoit ce qu'une amélioration, même légère, dans une industrie dont la production annuelle est de 1 milliard et demi de francs, et l'exportation en beurre de près de 100 millions de francs, présenterait d'avantages pour notre agriculture. Nous avons à nos portes un vaste marché qui ne demande qu'à recevoir et à consommer le double ou le triple de ce que nous lui envoyons, et à en payer la qualité.

On a déjà reconnu dans le nord de l'Europe, ainsi que

je l'ai dit dans une précédente Communication ([1]), qu'il fallait abandonner les anciennes pratiques : on y a été amené à refroidir le lait à 8 et 6 degrés, à l'aide de grands bassins remplis d'eau de source et même au moyen de glace ([2]). Ce n'est pas un refroidissement suffisant encore, comme le démontrent nos expériences, mais c'est déjà un progrès qui a eu les plus heureuses conséquences en étendant jusqu'à l'extrême Orient la zone d'exportation des beurres préparés en Danemark de cette façon, en augmentant le prix de ce produit et du fromage maigre, et en les faisant rechercher de plus en plus sur les marchés étrangers. Cette réforme a permis, d'autre part, de diminuer les frais de production en réduisant les frais de main-d'œuvre (il y a un écrémage en moins et l'emploi de grands brocs de 50 litres rend les lavages plus expéditifs), en supprimant les installations coûteuses de calorifères, la dépense de combustible en hiver, et les frais assez dispendieux pour l'achat et l'entretien d'un nombre considérable de petits vases à crémer.

Nous ne devons pas nous complaire dans notre situation

([1]) *Comptes rendus des séances de la Société centrale d'Agriculture de France*, 1874, n° 12.

([2]) Voici comment on opère dans une des meilleures fermes danoises, qui refroidit son lait à 6 degrés. Le lait est immédiatement après la traite versé dans des brocs en fer-blanc étamé de $0^m,55$ de hauteur sur $0^m,45$ de diamètre. Ces vases sont placés dans un réservoir rempli d'eau de source à 6 degrés, sans cesse renouvelée par un courant qui arrive de la source même. Au bout de douze heures, on fait le premier écrémage, et au bout de vingt-quatre le deuxième. La crème est mise dans des pots de grès et exposée à une température de 14 à 15 degrés. Au bout de vingt-quatre à trente heures, elle a une réaction acide et est bonne à battre. Avant le barattage, on la refroidit à 10 degrés C., et on la bat. Le beurre est obtenu en quarante-cinq à cinquante-cinq minutes. Pour obtenir le beurre avec la crème froide, il faut que le batteur marche très-vite ; au lieu de quatre-vingts tours à la minute, il en fait cent vingt et cent trente ; par suite la température s'élève graduellement dans la baratte et atteint 14 à 15 degrés C. à la fin de l'opération.

et nos succès présents. A côté de nous, on travaille : il faut suivre la même voie si nous voulons développer notre industrie laitière et ne pas nous laisser distancer; le traitement du lait à basse température y est tout aussi facile qu'ailleurs, il y sera tout aussi économique et avantageux; il n'y a qu'à utiliser dans ce but les eaux de source et de puits les plus froides, et à se servir de la glace quand on a besoin de les refroidir en été au degré convenable. L'emmagasinement de la glace constitue sans doute une dépense, mais celle-ci est minime; la glace se recueille à un moment où les travaux de la campagne sont considérablement ralentis et où les loisirs sont longs dans les fermes; on peut, d'autre part, se servir de silos, peu coûteux, comme cela se pratique dans les exploitations du nord de l'Europe. Ce n'est jamais d'ailleurs le travail qui a fait reculer nos laborieuses populations rurales quand on leur a signalé une sérieuse amélioration à réaliser.

INFLUENCE
DE
LA TERRE VÉGÉTALE
SUR
LA NITRIFICATION DES MATIÈRES ORGANIQUES AZOTÉES
EMPLOYÉES COMME ENGRAIS.

Les substances azotées d'origine organique, quand elles sont disséminées dans des mélanges terreux analogues à ceux qui constituent la terre végétale, donnent lieu à une production de nitrates. C'est ce que l'on constate dans les nitrières naturelles ou artificielles, dans les sols cultivés où l'on incorpore du fumier. Dans tous les cas, la nitrification est lente; elle n'a lieu qu'autant qu'il y a présence d'oxygène et une humectation convenable. Des recherches antérieures ont établi que l'azote de l'atmosphère ne concourt pas directement à la formation des composés nitrés. Ainsi, une terre végétale, après avoir été confinée pendant onze ans dans un grand volume d'air qu'on ne renouvelait pas, a été fortement salpétrée, mais la quantité totale d'azote, dosée au commencement et à la fin de l'observation, n'a pas changé sensiblement; les analyses parurent même indiquer qu'elle était un peu moindre dans la terre salpétrée; ce qui, au reste, est conforme à ce que MM. Lawes, Gilbert et Pugh ont reconnu [1].

---

[1] *Agronomie, Chimie agricole et Physiologie*, 2e édit., t. V, p. 321.

Pour étudier comparativement l'influence que la terre végétale et deux de ses principaux éléments exercent sur la nitrification des matières organiques azotées, voici comment on a procédé.

Le mélange de chaque substance avec le sable, avec la craie, avec la terre végétale, ou de la terre seule prise comme terme de comparaison, était introduit dans un flacon d'une capacité de 10 litres, après avoir été humecté avec un volume d'eau distillée bien inférieur à celui qui eût été nécessaire pour arriver au maximum d'imbibition. Cette disposition est indispensable, parce que, dans une terre très-humide, non-seulement il n'y a plus de nitrification, mais destruction des nitrates préexistants [1]. On

---

[1] Je mentionnerai ici quelques expériences établissant que, dans une terre végétale humectée au delà du maximum d'imbibition, il y a destruction de nitrates, et que, par conséquent, il ne saurait y avoir nitrification.

Ces recherches furent provoquées par cette opinion d'un agronome distingué, que, sous l'action d'un excès d'humidité, l'azote de l'acide constituant des nitrates était transformé en ammoniaque, de sorte que, pour un équivalent d'acide nitrique détruit, apparaissait un équivalent d'alcali volatil; d'où la conséquence que, par la disparition des nitrates, la fertilité du sol n'était pas atteinte, l'azote assimilable persistant dans la terre sous un autre état. On verra, par ce qui va suivre, que cette hypothèse n'est aucunement fondée.

Dans 1 kilogramme de terre séchée à l'air et à l'ombre, on dosait les nitrates et l'ammoniaque, puis on mouillait avec 600 grammes d'eau; la boue assez fluide résultant du mélange était mise dans un flacon ouvert. Après un certain temps, on dosait de nouveau les nitrates et l'ammoniaque.

I. — *Terre prise dans un champ de tabac, à la ferme de Merckwiller, en Alsace.*

	Acide nitrique.	Ammoniaque.
	gr	gr
Dans 1000 grammes de terre, 22 mai, dosé	0,203	0,011
Après immersion, 6 juin	0,000	0,022
Perdu.....	0,203	Acquis 0,011

L'acide disparu aurait pu former 0gr,064 d'ammoniaque; on a trouvé qu'il s'en est produit 0gr,011.

(Voir ci-contre la suite de la note.)

rassemblait la matière en un talus sur la paroi du vase;

II. — *Terre prélevée dans un parc des environs de Paris.*

	Acide nitrique.	Ammoniaque.
	gr	gr
Dans 1000 grammes de terre, 19 juin, dosé....	0,075	0,007
Après immersion, 5 juillet	0,004	0,010
Perdu.....	0,071	Acquis 0,003

L'acide disparu aurait pu former 0gr,020 d'ammoniaque; il s'en est produit 0gr,003.

III.— *Terre prise dans le jardin du Conservatoire des arts et métiers.*

Sol calcaire, riche en humus:

	Acide nitrique.	Ammoniaque.
	gr	gr
Dans 1000 grammes de terre, 19 juin, dosé ...	0,610	0,006
Après immersion, 5 juillet	0,458	0,008
Perdu.....	0,152	Acquis 0,002

L'acide disparu aurait pu former 0gr,048 d'ammoniaque; il s'en est produit 0gr,002.

IV. — *Terre prise dans un potager, en Alsace.*

Sol sablonneux, fortement fumé:

	Acide nitrique.	Ammoniaque.
	gr	gr
Dans 1000 grammes de terre, 8 août, dosé	0,658	0,026
Après immersion, 12 septembre.......... ..	0,324	0,020
Perdu.....	0,334	Perdu 0,006

Il n'y a pas eu formation d'ammoniaque. L'acide nitrique disparu aurait pu en produire 0gr,105.

Je n'ai pas rencontré de nitrates dans les terres tourbeuses des houblonnières de la plaine de Haguenau, en Alsace.

La tourbe semble, en effet, décomposer activement les nitrates.

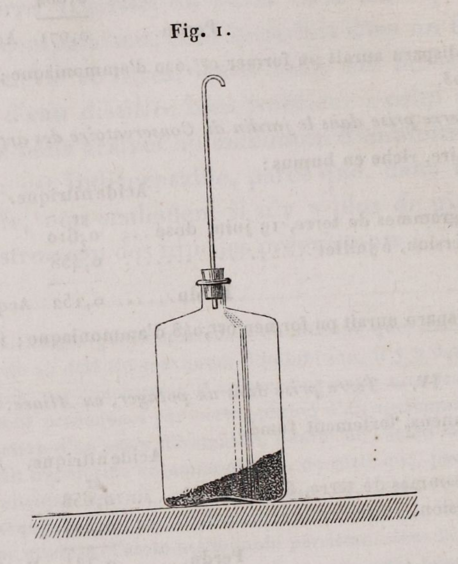
V. — *Tourbe employée comme combustible.*

	Acide nitrique.	Ammoniaque.
20 grammes pulvérisés et mouillés avec 40 grammes d'eau, 22 mai, dosé	gr 0,000	gr 0,0036
On ajoute : nitrate de potasse 0gr,1, acide.....	0,053	
22 mai, tourbe mouillée contenait acide	0,0533	0,0036
6 juin, dosé..................................	0,0361	0,0098
Disparu.....	0,0172	Acquis 0,0062

L'acide disparu aurait pu former 0gr,0054 d'ammoniaque; on en a trouvé 0gr,006, à peu près ce qu'indique la théorie.

puis on fermait avec un bouchon traversé par un tube d'une longueur de 45 centimètres, de 5 millimètres de diamètre, courbé à sa partie supérieure (*fig.* 1); on assurait ainsi une communication constante avec l'atmosphère extérieure, tout en atténuant l'évaporation.

Fig. 1.



Les flacons ont été placés sur une tablette, dans une chambre éclairée à l'ouest, en juin 1860. On n'y a plus touché, si ce n'est en juin 1863, pour y verser de l'eau, afin de remplacer en partie celle qui s'était dissipée. En juillet 1865, c'est-à-dire cinq ans après la mise en expérience, les mélanges ont été pesés et examinés.

Les substances organiques avaient été réparties :

1° Dans du sable blanc de Fontainebleau, préalablement lavé et calciné;

2° Dans de la craie de Meudon lavée et séchée à l'étuve;

3° Dans de la terre végétale argilo-siliceuse renfermant moins de 0,02 de calcaire.

Les substances organiques étaient :

	Azote.
Paille de froment contenant	0,004
Tourteau de colza	0,049
Os en poudre, préparés pour engrais	0,050
Os torréfiés au brun	0,080
Râpure de corne	0,144
Chiffons de laine	0,140
Chair de cheval desséchée des abattoirs d'Aubervilliers.	0,132
Sang de cheval desséché, d'Aubervilliers	0,122

La composition, les propriétés physiques des bases minérales du sol exercent, sans aucun doute, de l'influence sur les progrès, sur l'intensité de la nitrification ; ainsi l'on croit généralement qu'elle s'accomplit mieux dans une terre calcaire que dans une terre argileuse plus ou moins plastique que dans une terre sablonneuse. On en suit les progrès, mais sans pouvoir assigner nettement la part d'activité attribuable à chacun des éléments en présence : on se borne à reconnaître leur action collective. C'est la conséquence de la constitution complexe des terrains en culture, ou des matériaux que rassemblent les salpétriers pour former une nitrière. Dans les deux cas, l'argile, le sable, le calcaire, se trouvent en contact avec des débris de végétaux, des déjections d'animaux, des fumiers, de l'humus encore si mal connu, mais qui est incontestablement un puissant agent de fertilité.

C'est pour apprécier isolément l'influence du sable et du calcaire, deux éléments importants des sols cultivés, en la comparant à celle exercée par une terre végétale bien constituée, que les expériences ont été entreprises dans les conditions que je viens d'indiquer.

En 1865, on a dosé, dans chacun des mélanges, les nitrates et l'ammoniaque ; et comme, en définitive, les dosages devaient porter sur de faibles proportions d'acide nitrique et d'alcali, il fallait, pour éviter de multiplier les

erreurs d'analyses, opérer, non pas sur de petites fractions des matières employées, mais, autant que possible, sur la totalité, ou tout au moins sur la moitié. Il en est résulté l'obligation de restreindre le poids des substances mises à nitrifier.

§ I. — *Sable pris pour excipient des matières organiques.*

I. Sable	100gr	
Paille de froment	1	tenant azote 0gr,004
Eau : 1re addition (1860)	12	
» 2e addition (1863)	5	
	118	
Poids du mélange (juillet 1865).	103,5	
Différence	14,5	

Dosé : acide nitrique, 0gr; ammoniaque, 0gr.

Il n'y avait pas eu de nitrification. La paille mêlée au sable, en petits fragments, n'était plus visible. On pouvait objecter l'absence de matières alcalines ou terreuses nécessaires à la constitution des nitrates. Cependant 1 gramme de paille contient 0gr,07 de substances minérales, renfermant assez de potasse, de chaux, de magnésie pour retenir l'acide nitrique qu'aurait pu produire 0gr,004 d'azote.

II. Sable	100gr	
Tourteau de colza	2	tenant azote 0gr,098
Eau : 1re addition	12	
» 2e addition	5	
	119	
Poids du mélange (juillet 1865).	103	
Différence	16	

Dosé : ac. nitrique, 0gr; ammoniaque, 0gr,011; azote, 0gr,0091, les 0,09 de l'azote entrant dans le tourteau.

III. Sable............	100^{gr}	
Os en poudre......	2	tenant azote $0^{gr},100$
Eau : 1re addition..	12	
» 2e addition..	5	
	119	
Poids du mélange en 1865..	104	
Différence	15	

Dosé : Acide nitrique, $0^{gr},0980$, contenant azote $0^{gr},0254$
Ammoniaque, 0,0042 » 0,0035
Azote total......... 0,0289

les 0,29 de l'azote entrant dans les os en poudre.

IV. Sable..............	100^{gr}	
Os torréfiés........	2	tenant azote $0^{gr},16$
Eau : 1re addition...	12	
» 2e addition...	5	
	119	
Poids du mélange en 1865...	104	
Différence	15	

Dosé : acide nitrique, traces; ammoniaque, $0^{gr},0021$, contenant azote $0^{gr},00173$, le 0,01 de l'azote des os torréfiés.

Les os torréfiés au *roux* n'ont produit qu'une trace d'acide nitrique; ces os avaient été obtenus en les chauffant dans des brûloirs en tôle, avant de les moudre. Cette préparation n'a pas répondu à l'attente de l'inventeur; la torréfaction paraîtrait avoir entravé la décomposition de la matière organique.

V. Sable	100^{gr}	
Râpure de corne...	1	tenant azote $0^{gr},144$
Eau : 1re addition...	12	
» 2e addition...	5	
	118	
Poids du mélange en 1865..	105	
Différence	13	

Dosé : acide nitrique, traces; ammoniaque, $0^{gr},0152$, contenant azote $0^{gr},0125$, les 0,087 de l'azote entrant dans la corne.

	gr	
VI. Sable	100	
Chiffons de laine	1	tenant azote $0^{gr},140$
Eau : 1re addition	12	
» 2e addition	5	
	118	
Mélange pesait en 1865	106	
Différence	12	

Dosé : acide nitrique, traces; ammoniaque, $0^{gr},007$, contenant azote $0^{gr},0058$, les $0^{gr},04$ de l'azote entrant dans la laine.

	gr	
VII. Sable	100	
Chair de cheval sèche	1	tenant azote $0^{gr},132$
Eau : 1re addition	12	
» 2e addition	5	
	118	
Mélange pesait en 1865	104	
Différence	14	

Dosé : acide nitrique, traces; ammoniaque, $0^{gr},006$, contenant azote $0^{gr},0049$, les 0,037 de l'azote entrant dans la chair.

	gr	
VIII. Sable	100	
Sang desséché	1	tenant azote $0^{gr},122$
Eau : 1re addition	12	
» 2e addition	5	
	118	
Mélange pesait en 1865	104	
Différence	14	

Dosé : acide nitrique, traces; ammoniaque, $0^{gr},006$, contenant azote $0^{gr},0049$, les 0,04 de l'azote entrant dans le sang desséché.

§ II. — *Craie prise pour excipient de la matière organique.*

IX. Craie	100^{gr}	
Paille de froment	1	tenant azote $0^{gr},004$
Eau : 1re addition	25	
» 2e addition	5	
	131	
Mélange pesait en 1865	117	
Différence	14	

Dosé : acide nitrique, traces; ammoniaque, $0^{gr},0025$, contenant azote $0^{gr},0021$, les 0,52 de l'azote entrant dans la paille; on n'apercevait plus de fibres ligneuses.

X. Craie	100^{gr}	
Tourteau de colza	2	tenant azote $0^{gr},098$
Eau : 1re addition	30	
» 2e addition	5	
	137	
Mélange pesait en 1865	116	
Différence	21	

Dosé : acide nitrique, traces; ammoniaque, $0^{gr},039$, contenant azote $0^{gr},032$, les 0,327 de l'azote du tourteau.

XI. Craie	100^{gr}	
Os en poudre	2	tenant azote $0^{gr},10$
Eau : 1re addition	25	
» 2e addition	5	
	132	
Mélange pesait en 1865	118	
Différence	14	

Dosé : acide nitrique, $0^{gr},0936$; azote $0^{gr},0242$; ammoniaque, $0^{gr},000$. L'acide nitrique formé renfermait les $0^{gr},24$ de l'azote des os.

Le mélange émettait l'odeur des moisissures; sur la paroi du flacon, en contact avec la matière, on remarquait une végétation cryptogamique d'un beau vert :

	gr	
XII. Craie............	100	
Os torréfiés.	2	tenant azote 0^{gr},160
Eau : 1re addition...	25	
» 2e addition...	5	
	132	
Mélange pesait en 1865..	119	
Différence.........	13	

Dosé : acide nitrique, 0^{gr},000; ammoniaque, 0^{gr},021, contenant azote 0^{gr},017, les 0,11 de l'azote des os torréfiés.

	gr	
XIII. Craie..............	100	
Râpure de corne....	1	tenant azote 0^{gr},144
Eau : 1re addition...	25	
» 2e addition...	5	
	131	
Mélange pesait en 1865..	113	
Différence.........	18	

Dosé : acide nitrique, traces; ammoniaque, 0^{gr},022, contenant azote 0^{gr},018, les 0,125 de l'azote de la corne.

Il ne s'était pas développé de végétation cryptogamique.

	gr	
XIV. Craie.............	100	
Chiffons de laine....	1	tenant azote 0^{gr},140
Eau : 1re addition...	25	
» 2e addition...	5	
	131	
Mélange pesait en 1865..	115,5	
Différence.........	15,5	

Dosé : acide nitrique, traces; ammoniaque, 0^{gr},027, contenant azote 0^{gr},0222, les 0,16 de l'azote de la laine.

XV. Craie..............	100gr	
Chair desséchée.....	1	tenant azote 0gr,132
Eau : 1re addition...	25	
» 2e addition...	5	
	131	
Mélange pesait en 1865..	115	
Différence.........	16	

Dosé : acide nitrique, traces; ammoniaque, 0gr,030, contenant azote 0gr,025, les 0,19 de l'azote de la chair desséchée.

XVI. Craie.............	100gr	
Sang desséché.....	1	tenant azote 0gr,122
Eau : 1re addition..	25	
» 2e addition..	5	
Mélange pesait en 1865.	116	
Différence........	15	

Dosé : acide nitrique, traces; ammoniaque, 0gr,032, contenant azote 0gr,0264, les 0,22 de l'azote du sang desséché.

§ III. — *Terre végétale prise pour excipient des substances organiques.*

Dans la terre séchée à l'air, passée au crible pour en séparer le gravier et les débris de plantes, on a dosé, dans 100 parties :

Azote appartenant à des substances organiques, à l'humus	0,2090
Acide nitrique constituant des nitrates	0,0093
Ammoniaque	0,0011

Cette terre, d'un brun clair, acquérait une teinte brun foncé quand on l'humectait. Sa base minérale consistait en un mélange d'argile et de sable siliceux. Ainsi que toutes les terres fertiles, elle est nitrifiable; il convenait donc, pour les recherches qu'on avait en vue, d'apprécier la quantité de salpêtre qui s'y développerait spontanément.

XVII. Terre végétale	....	50 gr
Eau : 1re addition, en 1860	....	12
» 2e addition, en 1863	....	5
		67,0
En juillet 1865, la terre a pesé	.....	55,0
Différence	....	12,0

Dosé : acide nitrique....... 0gr,0600 Ammoniaque... 0gr,0009
La terre contenait 0,0046 0,0006
Acquis, de 1860 à 1865, AzO^5 0,0554=Az 0gr,0144 AzH^3 0,0003=Az 0gr,0002

Dans les conditions où l'expérience a été faite, 0gr,0146 de l'azote appartenant aux matières organiques de la terre auraient concouru à la production de 0gr,0554 d'acide nitrique et de 0gr,0003 d'ammoniaque; il y aura donc lieu, dans les observations dont je vais rendre compte, de considérer ces quantités d'acide et d'alcali comme des constantes.

XVIII. Terre végétale... 50 gr
Paille de froment. 1,5 tenant azote 0gr,0020
Eau : 1re addition 12,0
» 2e addition 5,0
67,5
Mélange pesait en 1865 56,5
Différence...... 11,0

Dosé : acide nitrique 0gr,0700; ammoniaque 0gr,0000
Avant, la terre contenait 0,0046 0,0006
Acquis .... 0,0654 Perdu 0,0006
Production normale 0,0554 0,0003
Formé, sous l'influence de la paille 0,0100=Az 0gr,0026 0,0003=Az 0,00020

L'azote entrant dans l'acide et l'ammoniaque développés dépasse, comme on voit, l'azote contenu dans la paille. De l'azote de la terre est intervenu.

Dans la terre, on n'aperçoit plus de fibres ligneuses ; il était apparu une faible végétation cryptogamique.

XIX. Terre végétale..	50gr	
Tourteau de colza	1	tenant azote 0gr,049
Eau : 1re addition	12	
» 2e addition	5	
	68	
Mélange pesait en 1865..	56	
Différence.....	12	

Dosé : Acide nitrique.	0gr,1630 Ammoniaque	0gr,0028
Avant, la terre contenait............	0,0046	0,0006
Acquis............	0,1584	0,0022
Production normale.	0,0554	0,0003
Formé sous l'influence du tourteau.....	0,1030 = Az 0gr,0267	0,0019 = Az 0gr,0016

L'azote de l'acide et de l'ammoniaque, 0gr,0283, représenterait les 0,58 de l'azote du tourteau.

XX. Terre végétale..	50gr	
Os en poudre...	1	tenant azote 0gr,05
Eau : 1re addition	12	
» 2e addition	5	
	68	
Mélange pesait en 1865.	57	
Différence.....	11	

Dosé : Acide nitrique	0gr,1192	Ammoniaque 0gr,0018
Avant, la terre contenait	0,0046	0,0006
Acquis	0,1146	0,0012
Production normale.	0,0554	0,0003
Formé sous l'influence des os	0,0592 = Az 0gr,0154	0,0009 = Az 0gr,0007

L'azote de l'acide et de l'ammoniaque développés représenterait les 0,32 de l'azote des os.

XXI. Terre végétale	50gr	
Os torréfiés	1	tenant azote 0gr,08
Eau : 1re addition	12	
» 2e addition	5	
	68	
Mélange pesait en 1865	57,5	
Différence	10,5	

Dosé : Acide nitrique	0gr,1462	Ammoniaque 0gr,0020
Avant, la terre contenait	0,0046	0,0006
Acquis	0,1446	0,0014
Production normale.	0,0554	0,0003
Formé sous l'influence des os torréfiés	0,0892 = Az 0,0231	0,0011 = Az 0,0009

L'azote de l'acide et de l'ammoniaque représenterait les 0,30 de l'azote des os torréfiés.

XXII. Terre végétale	50gr	
Râpure de corne	0,5	tenant azote 0gr,072
Eau : 1re addition	12,0	
» 2e addition	5,0	
	67,5	
Mélange pesait en 1865	57,0	
Différence	10,5	

Dosé : Acide nitrique	0^{gr},3071 Ammoniaque	0^{gr},0010
Avant, la terre contenait..........	0,0046	0,0006
Acquis............	0,3025	0,0004
Production normale.	0,0554	0,0003
Formé sous l'influence de la corne......	0,2471=Az0^{gr},0640	0,0001=Az0^{gr},0008

L'azote de l'acide et de l'ammoniaque représenterait les 0,90 de l'azote de la corne.

XXIII. Terre végétale..	50^{gr}	
Chiffons de laine	0,5	tenant azote 0^{gr},07
Eau : 1re addition	12,0	
» 2e addition	5,0	
	67,5	
Mélange pesait en 1865..	57,0	
Différence.....	10,5	

Dosé : Acide nitrique	0^{gr},1743 Ammoniaque	0^{gr},0018
Avant, la terre contenait............	0,0046	0,0006
Acquis............	0,1697	0,0012
Production normale.	0,0554	0,0003
Formé sous l'influence de la laine......	0,1143=Az0^{gr},0296	0,0009=Az0^{gr},0007

L'azote de l'acide et de l'ammoniaque, 0^{gr},0303, représenterait les 0,43 de l'azote de la laine.

XXIV. Terre végétale..	50^{gr}	
Chair desséchée.	0,5	tenant azote 0^{gr},066
Eau : 1re addition	12,0	
» 2e addition	5,0	
	67,5	
Mélange pesait en 1865..	56,0	
Différence....	11,5	

Dosé : Acide nitrique	0,2370 gr	Ammoniaque 0,0030 gr
Avant, la terre contenait	0,0046	0,0006
Acquis	0,2324	0,0024
Production normale	0,0554	0,0003
Formé sous l'influence de la chair	0,1770 = Azo^gr,0458 ;	0,0021 = Azo^gr,0017

L'azote de l'acide et de l'ammoniaque, $0^{gr},0475$, représente les 0,72 de l'azote de la chair desséchée.

XXV. Terre végétale	100 gr	
Sang desséché	1	tenant azote $0^{gr},122$
Eau : 1re addition	24	
» 2e addition	5	
	130	
Mélange pesait en 1865	117	
Différence	13	

Dosé : Acide nitrique	0,5108 gr	Ammoniaque 0,0025 gr
Avant, la terre contenait	0,0093	0,0011
Acquis	0,5015	0,0014
Production normale	0,1108	0,0006
Formé sous l'influence du sang	0,3907 = Azo^gr,1013 ;	0,0008 = Azo^gr,0007

L'azote de l'acide et de l'ammoniaque, $0^{gr},102$, représenterait les 0,84 de l'azote du sang.

J'ai résumé en un tableau les résultats précédemment exposés, en exprimant par 100 le poids des substances organiques incorporées au sable, à la craie, à la terre végétale. Le poids de la terre, mise seule en observation, est aussi représentée par 100 parties. Dans la première colonne du tableau, on trouve la quantité d'azote contenue dans les substances mises en expérience; dans la dernière

colonne, la fraction de l'azote constitutionnel transformée en acide nitrique et en ammoniaque.

SUBSTANCES AZOTÉES.	AZOTE dans 100.	AzO^5 dosé.	AzH^3 dosé.	AZOTE de AzO^5 et AzH^3.	FRACTION de L'AZOTE transformé.
Première série, sable pour excipient.					
Paille de froment....	0,40	0,00	0,00	"	"
Tourteau de colza...	4,90	traces	0,53	0,45	0,09
Os en poudre.......	5,00	4,90	0,21	1,45	0,29
Os torréfiés.........	8,00	traces	0,11	0,09	0,01
Râpure de corne.....	14,40	traces	1,52	1,25	0,09
Chiffons de laine...	14,00	traces	0,70	0,58	0,04
Chair desséchée.....	13,20	traces	0,60	0,49	0,04
Sang desséché.......	12,20	traces	0,60	0,49	0,04
Deuxième série, craie pour excipient.					
Paille de froment...	0,40	traces	0,25	0,21	0,53
Tourteau de colza...	4,90	traces	1,95	1,60	0,33
Os en poudre.......	5,00	4,68	traces	1,21	0,24
Os torréfiés.........	8,00	0,00	1,05	0,85	0,11
Râpure de corne....	14,40	traces	2,20	1,80	0,12
Chiffons de laine....	14,00	traces	2,70	2,22	0,16
Chair desséchée.....	13,20	traces	3,00	2,50	0,19
Sang desséché.......	12,20	traces	3,20	2,64	0,22
Troisième série, terre végétale pour excipient.					
Paille de froment....	0,40	2,00	0,06	0,57	"
Tourteau de colza...	4,90	10,30	0,19	2,83	0,58
Os en poudre.......	5,00	5,92	0,09	1,61	0,32
Os torréfiés.........	8,00	8,92	0,11	2,42	0,30
Râpure de corne....	14,40	48,42	0,02	12,96	0,90
Chiffons de laine.....	14,00	22,86	0,18	3,03	0,43
Chair desséchée.....	13,20	35,40	0,42	9,40	0,72
Sang desséché.......	12,20	39,07	0,08	10,20	0,74
Terre végétale seule..	0,21	0,11	traces	0,03	0,14

Dans le sable, seuls les os en poudre, non torréfiés, auraient donné lieu à une production notable d'acide nitrique. Les autres matières n'en ont fourni que des traces. Toutes ont émis de faibles quantités d'ammoniaque.

Dans la craie, les os ont produit, à très-peu près, la même proportion d'acide nitrique que dans le sable; l'indice de l'ammoniaque y a été plus fort, mais, à part les os, il n'est apparu que des traces d'acide nitrique. Les os paraissent avoir une tendance à se nitrifier. Les eaux d'infiltration de l'ossuaire des catacombes sous Paris renferment, d'après les analyses de M. Hervé Mangon, de très-fortes quantités de nitrates.

Le peu d'intensité de la nitrification constatée dans la craie est en contradiction avec l'opinion généralement professée sur les effets favorables du calcaire dans la formation du salpêtre, mais le résultat est d'accord avec ce que j'ai observé dans des recherches sur le *chaulage*. Ainsi, de la marne ajoutée au sol n'a pas agi plus efficacement que le sable ([1]). On est d'ailleurs porté à voir dans le salpêtre envahissant les murs en pierre calcaire, les plâtres d'un rez-de-chaussée, le produit d'une nitrification accomplie dans ces matériaux, tandis que, le plus souvent, il n'y a là qu'un effet de capillarité amenant de l'eau chargée de sels d'un terrain humide; aussi est-ce en vain qu'on a essayé d'opposer à l'irruption du salpêtre des enduits résineux hydrofuges; les sels continuent à grimper, et bientôt le mastic est repoussé, détaché. Le seul moyen réellement efficace d'empêcher une construction d'être envahie par le salpêtre, c'est de faire reposer les assises inférieures sur des lames de plomb, de manière à rompre toute continuité avec le sous-sol.

C'est dans la terre végétale, déjà nitrifiable spontané-

([1]) *Agronomie, Chimie agricole et Physiologie.*

ment, que les matières organiques azotées ont développé le plus d'acide nitrique et le moins d'ammoniaque. En effet, 100 de ces matières ont donné, en moyenne : acide nitrique, 21,61, renfermant les 0,58 de leur azote constitutionnel [1].

---

[1] Il est remarquable que, dans un très-grand nombre d'expériences faites pour essayer de nitrifier des substances azotées, je n'aie jamais pu déceler la moindre production d'acide nitrique, en l'absence de la terre végétale.

Pour excipient, on avait pris :

Sable quartzeux de Fontainebleau,
Marne du Loiret,
Fahlun de Touraine,
Noir d'os,
Coke.

Ces matières étaient d'abord lavées et séchées, car toutes, sans exception, dans l'état où on se les procure, contiennent des nitrates, ce qui paraîtra assez surprenant pour le noir d'os et le coke. Mais ces substances sont emmagasinées dans des lieux humides, et, en ce qui concerne le coke, on sait qu'en sortant des cornues ou des fours à gaz on l'étend sur le terrain, et que, pour en hâter le refroidissement, on l'arrose avec de l'eau dans laquelle il y a certainement des nitrates.

Les mélanges consistaient en 1 kilogramme d'excipient dans lequel on répartissait les matières azotées ; on humectait en restant au-dessous du maximum d'imbibition, et on les mettait dans un plat en porcelaine recouvert d'un entonnoir.

Les substances azotées employées ont été :

Tourteau de lin,
Gélatine extraite des os par de l'eau distillée,
Lait,
Urine,
Sel ammoniac,
Guano.

Un mois après la mise en expérience, on a commencé à rechercher l'acide nitrique dans chacun des mélanges, sans en rencontrer, si ce n'est là où il y avait du guano, qui en renferme toujours de faibles proportions, ainsi que je l'ai reconnu depuis longtemps, et qu'il n'est pas possible de laver sans en changer la constitution.

Quant à la nécessité de laver les matières servant d'excipient, elle est fondée sur ce fait qu'il est impossible qu'un produit de l'industrie qui a

La nitrification spontanée de la terre végétale doit d'ailleurs avoir une limite, par la raison que les principes azotés qui s'y rencontrent ne sont pas tous nitrifiables. Nous voyons, par exemple, qu'en cinq années 100 grammes de la terre mise en expérience n'ont fourni que $0^{gr},11$ d'acide nitrique = azote $0^{gr},0285$, les 0,14 de l'azote constitutionnel ; mais, en incorporant à ces 100 grammes de terre 1 gramme de sang desséché, on a eu $0^{gr},50$ d'acide nitrique, dont $0^{gr},39$ = azote $0^{gr},10$ peuvent être attribués au sang. C'est donc bien à l'influence de la terre qu'est due l'oxydation de cet azote, puisque, mis dans le sable ou dans la craie, le sang, ainsi que les autres substances azotées, n'a fourni que des traces de nitrates.

été imbibé d'eau à sa surface et ensuite desséché ne renferme des nitrates, puisque toutes les eaux, même la pluie, en contiennent. L'eau, en s'évaporant, laisse dans la substance qu'elle mouillait les sels qu'elle tenait en dissolution, et parmi eux les nitrates. Ainsi l'on a dosé, en acide nitrique, dans 1 kilogramme de :

Papier à filtrer, l'équivalent de	gr 0,01	de nitrate de potasse.
Gélatine du commerce........	0,19	»
Noir d'os neuf................	0,05	»

RECHERCHES
SUR LES
FONCTIONS DES CHAMPIGNONS;

Par M. A. MÜNTZ.

Première Partie.

DES MATIÈRES SUCRÉES CONTENUES DANS LES CHAMPIGNONS.

Les recherches qui font l'objet de ce travail ont été entreprises pour déterminer la nature des sucres qui entrent dans la constitution des champignons et pour éclaircir quelques questions, encore obscures, des fonctions respiratoires de ces êtres qui peuvent se placer parmi les plus simples du règne végétal. C'est cette simplicité d'organisation qui permet de suivre avec plus de facilité les modifications qui s'effectuent dans les substances qu'ils renferment. En outre, l'intérêt qui s'attache à leur étude est considérablement augmenté par les transformations que quelques-uns d'entre eux sont aptes à faire subir à un grand nombre de matières organiques.

Dans des travaux qui datent du commencement du siècle, Braconnot [1] a fait une série de recherches analytiques sur les champignons. A cette époque l'analyse immédiate des plantes était très-cultivée et, contrairement à ce qui se fait de nos jours, les chimistes s'attachaient non-seulement

[1] *Annales de Chimie et de Physique*, 1re série, t. LXXX, 1811.

à isoler telle ou telle substance, mais à déterminer la nature et la quantité de tous les principes qui formaient le végétal qu'ils examinaient. Cette méthode présentait de grands avantages, et, si elle était appliquée aujourd'hui avec les moyens dont la Science dispose, l'étude de la transformation des matières dans les êtres organisés ferait des progrès plus rapides, et bien des problèmes que les physiologistes osent à peine aborder seraient déjà résolus.

A l'époque où Braconnot faisait ses recherches, un moins grand intérêt s'attachait à l'étude des champignons, car on était loin de soupçonner que les phénomènes de fermentation et de putréfaction étaient attribuables à des êtres organisés parmi lesquels les champignons se plaçaient au premier rang.

Je me suis attaché d'abord à caractériser les sucres qui entrent dans la composition des champignons et à en rechercher les transformations. Le rôle de la matière sucrée dans la vie des plantes est des plus importants : c'est la forme par laquelle passe le plus ordinairement le carbone, tant pour s'éloigner que pour s'approcher du maximum d'organisation. Tout ce qui peut éclairer l'histoire de ces corps se rattache donc aux fonctions les plus intimes des végétaux.

Braconnot a trouvé, dans certaines espèces, une matière sucrée qu'il a nommée *sucre de champignons* et dont des recherches ultérieures ont démontré l'identité avec la mannite.

Pendant l'automne de 1872, j'ai examiné, sous le point de vue de la matière sucrée, un grand nombre de champignons recueillis dans les forêts du Liebfrauenberg, en Alsace. Le plus grand nombre contenait de la mannite, facile à extraire à l'état de cristaux, sur lesquels on a pu vérifier tous les caractères de cette matière. D'autres donnaient un sirop qui déposait, au bout de quelques heures ou de quelques jours, des cristaux fort différents de ceux

que donne la mannite, formant des octaèdres rectangulaires dont quelques-uns portaient nettement une facette hémiédrique. Après avoir préparé une certaine quantité de ces cristaux, je n'ai pas tardé à reconnaître leur identité avec le tréhalose, sucre que M. Berthelot [1] a retiré du *trehala,* manne comestible de l'Orient. En effet, cette matière, fortement sucrée, pas ou difficilement fermentescible au contact de la levûre de bière, ne réduit pas directement la liqueur de Fehling; elle la réduit, au contraire, après une ébullition prolongée avec l'acide sulfurique, fond dans un tube au voisinage de 100 degrés sans présenter un point de fusion nettement déterminé et ne passe à l'état liquide quand elle est placée dans une capsule large qu'à une température plus élevée. Son pouvoir rotatoire est plus considérable que celui de tous les autres sucres.

Cette identité a, du reste, pu être vérifiée par la comparaison avec le tréhalose du *trehala.* M. F. Würtz, que je suis heureux de remercier ici, a eu l'obligeance de faire venir d'Orient, à mon intention, cette manne, introuvable dans les collections de Paris et qu'il est difficile de se procurer, même dans les pays d'où elle est originaire.

Une troisième espèce de sucre existe dans certains champignons; il est fermentescible et réduit la liqueur cupropotassique. Il n'a cependant pas été possible de l'isoler; là où il se rencontrait il était constamment accompagné de tréhalose et de mannite, qui n'ont pas permis de l'obtenir à l'état de pureté.

Pour rechercher quel sucre contient le champignon à examiner, on en prend quelques grammes qu'on découpe en tranches minces et qu'on fait sécher. Après dessiccation, on traite dans un ballon par de l'alcool à 90° bouillant.

La dissolution alcoolique est évaporée et le résidu repris

---

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. LV, p. 272.

par quelques centimètres cubes d'eau qui séparent une matière grasse jaune. On filtre sur du papier préalablement mouillé, et l'on reçoit le liquide dans un verre de montre. On soumet à une évaporation lente. S'il y a de la mannite, même en très-petite quantité, le verre de montre se recouvre d'une belle cristallisation radiée qu'un œil exercé ne peut manquer de reconnaître comme caractéristique de la mannite. S'il y a du tréhalose, il se forme un sirop qui, au bout de quelques heures, ou seulement de quelques jours, dépose des octaèdres rectangulaires qui atteignent souvent un volume relativement considérable. Dans la plupart des cas il y a en même temps de la mannite et du tréhalose ; on voit alors les deux sortes de cristaux se former, mais moins nettement que si chacun de ces deux sucres était seul. Si cependant il y a un doute sur la présence du tréhalose, l'observation au saccharimètre dévoilera facilement ce corps, dont le pouvoir rotatoire est plus élevé que celui de tous les autres sucres.

La liqueur de Fehling dénotera la présence du sucre réducteur.

La mannite peut s'extraire en quantité considérable des nombreuses espèces qui la contiennent. Il suffit d'évaporer le jus des champignons pour obtenir une masse cristalline qui, soumise à l'expression, redissoute en présence du noir animal, fournit par une seconde cristallisation de la mannite presque pure. Si cette substance avait une application industrielle, c'est certainement des champignons qu'il y aurait le plus d'avantages à l'extraire.

Pour préparer le tréhalose, il faut choisir les espèces qui ne contiennent que ce sucre, l'extraction étant très-difficile en présence de la mannite. On exprime le jus, on le précipite par le sous-acétate de plomb, on enlève l'excès de plomb par l'hydrogène sulfuré et l'on évapore en sirop clair. Le tréhalose cristallise dès les premiers jours. Ces cristaux sont lavés à l'alcool froid et dissous dans l'alcool

à 90 degrés bouillant, qui les dépose par refroidissement. Des cristallisations répétées dans l'alcool fournissent du tréhalose pur.

Je me suis aussi servi d'une autre méthode pour préparer ce sucre ; elle donne également de bons résultats. On traite les champignons, desséchés et pulvérisés, par de l'alcool bouillant ; la liqueur alcoolique étant évaporée, on reprend le résidu par de l'eau chaude qui fournit des cristaux dont une ou deux cristallisations dans l'alcool achèvent la purification.

Parmi les espèces les plus communes dont on peut facilement extraire le tréhalose je citerai les suivantes : *Agaricus Eringii, sulfureus, muscarius, columbetta*, *Lactarius viridis*, etc.

Le tréhalose se trouve quelquefois en quantité notable ; de 120 grammes d'*Agaricus Eringii* sec j'ai pu retirer 10 grammes de ce sucre cristallisé.

Les espèces qui suivent contiennent aussi du tréhalose ; mais la présence simultanée de la mannite en rend l'extraction difficile : *Agaricus fusipes, lateritius, cæsareus, Lycoperdon pusillum*, etc.

Les espèces qui contiennent ces deux sucres réunis sont les plus nombreuses.

Il arrive quelquefois que les individus jeunes de certaines espèces ne contiennent que du tréhalose, tandis que les individus plus avancés en âge contiennent aussi de la mannite. L'*Agaricus sulfureus* est dans ce cas, qui, du reste, ne s'est rencontré que rarement ; on n'a jamais trouvé d'espèces chez lesquelles l'inverse ait pu être observé, c'est-à-dire qui, contenant dans leur jeunesse de la mannite seulement, ont acquis du tréhalose en avançant en âge.

Parmi les champignons qui ne contiennent jamais que de la mannite, je citerai : *Agaricus cornucopia, maculatus, Cantharellus cibarius, Agaricus scyphoïdes, albus, campestris*, etc.

Enfin le sucre réducteur qui se joint quelquefois aux deux autres espèces est surtout abondant dans le *Boletus extensus*.

Après avoir examiné les champignons supérieurs, j'ai cru intéressant de soumettre au même genre de recherches les espèces inférieures, qui jouent le rôle de ferments et de moisissures.

De la levûre de bière, à un certain degré de pureté, a été épuisée par l'eau ou par l'alcool bouillants ; on a séparé une grande quantité de matière par le sous-acétate de plomb ; l'excès de plomb a été enlevé par l'hydrogène sulfuré. La liqueur évaporée donnait un magma cristallin très-complexe dont on a en vain cherché à extraire de la mannite ou du tréhalose. Par l'emploi du polarimètre on n'a pas non plus pu constater la présence de ce dernier sucre ; les liqueurs obtenues déviaient toujours à gauche, mais d'une manière peu intense. Du magma cristallin j'ai pu extraire de la tyrosine et la caractériser. M. Schützenberger (1) a décrit les produits que fournit la levûre ; je ne les ai pas étudiés ; je n'en fais mention que pour faire voir que, s'il existait des matières sucrées dans la levûre, la grande quantité et la diversité des autres substances solubles pouvaient en avoir masqué la présence ou empêché la séparation.

Le *Mycoderma aceti* a donné des résultats également incertains. La question de savoir si ces deux espèces contiennent dans leur organisme les matières sucrées caractéristiques des champignons n'est donc pas résolue.

Le *Penicillium glaucum* a été cultivé sur diverses solutions, placées dans de très-grandes cuvettes de photographie ; il se formait, au bout de quelques jours, un mycé-

---

(1) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. LXXVIII, p. 493.

lium épais, nageant à la surface du liquide, et qui ne tardait pas à fructifier. Quand on jugeait que la végétation était assez avancée, on faisait écouler le liquide et on le remplaçait 2 ou 3 fois par de l'eau pure, sans immerger le champignon. De cette façon le liquide primitif qui le baignait était enlevé. On desséchait, on réduisait en poudre et l'on traitait par l'alcool bouillant; la liqueur alcoolique était évaporée à sec et le résidu repris par l'eau qui séparait une matière résineuse; par l'évaporation de l'eau on obtenait toujours des cristaux de mannite, faciles à reconnaître par leur point de fusion situé vers 165 degrés et par les caractères de cristallisation dans l'alcool.

On a employé, pour y semer le *Penicillium*, de l'empois d'amidon, des dissolutions de sucre interverti, d'acide tartrique, de gélatine, auxquelles on avait ajouté des matières minérales en employant le mélange indiqué par M. Raulin. On s'est aussi servi de liquides naturels, tels que jus de pomme, de groseilles, etc., dont la plus grande partie du sucre avait été préalablement détruite par la fermentation alcoolique. Dans toutes ces expériences, le *Penicillium* renfermait de la mannite. La matière obtenue ne déviant pas la lumière polarisée, on en conclut qu'elle ne renferme pas de tréhalose.

La production de mannite aux dépens des éléments de l'acide tartrique mérite d'attirer l'attention. En effet, la constitution de ces deux corps est très-différente; la molécule d'acide tartrique est plus simple et contient une quantité moindre d'équivalents de carbone; c'est donc une véritable synthèse qu'accomplit le *Penicillium*, accessoirement à sa fonction principale, qui est une combustion complète, inverse de la fonction synthétique, plus spécialement propre aux végétaux à chlorophylle.

Le *Mucor mucedo* a pu être cultivé, à l'état de pureté, sur du crottin de cheval et surtout sur différentes graines en train de germer. Il a été long et pénible d'en recueillir

des quantités assez notables pour en faire l'analyse. Des graines de colza, mises à germer sur du gravier dans de grandes cuvettes de photographie, et maintenues dans un milieu très-humide, ont été le terrain le plus favorable à la culture du *Mucor*.

Une épaisse végétation de ce champignon recouvrait les graines dont la vie était arrêtée. On a remarqué qu'il présentait, comme les plantes vertes, le phénomène de l'héliotropisme positif, c'est-à-dire qu'il se dirigeait constamment du côté de la lumière. De temps en temps on l'enlevait avec une pince ; il se développait de nouveau rapidement en portant des fructifications. On a pu de cette manière recueillir plusieurs grammes de ce champignon à l'état sec. On l'a traité par l'alcool bouillant et l'on a obtenu un sirop qui a déposé des cristaux de tréhalose. Ces cristaux étaient parfaitement reconnaissables ; aucun doute ne pouvait exister sur leur nature ; ils avaient la même forme et le même aspect que le tréhalose extrait des champignons qui ne contiennent que ce sucre. La petite quantité de ces cristaux n'a pas permis d'en prendre exactement le pouvoir rotatoire ; mais on a pu constater qu'ils déviaient fortement le plan de la lumière polarisée, comme le fait le tréhalose. Toutes les réactions concordaient avec celles de ce sucre. On peut donc regarder comme hors de doute sa présence dans le *Mucor mucedo*. Deux autres cultures, faites, l'une sur le crottin de cheval et l'autre sur des haricots, ont donné le même résultat. On n'a jamais obtenu de mannite. Sous le point de vue de la présence des matières sucrées dans leur organisme, les moisissures rentrent donc dans le cas des champignons supérieurs.

Les *Myxomycètes* sont des êtres singuliers dont les affinités sont loin d'être nettement déterminées. En effet, certains auteurs, et parmi les plus autorisés, comme M. du Barry, en font une classe à part, intermédiaire entre les animaux et les végétaux ; d'autres naturalistes les placent,

quoique avec hésitation, parmi les champignons. Il n'était pas sans intérêt de rechercher quel sucre contiennent ces organismes.

L'*Æthalium septicum*, vulgairement appelé *fleur de tan*, est le plus connu parmi eux ; il forme, à la surface de la tannée humide, des plaques épaisses, d'un jaune vif, constituées par un protoplasma nu et offrant ainsi le curieux exemple d'un être sans cellule ni tissu. Au bout de quelques jours cette masse se transforme en une poudre brune, formée par des spores analogues à ceux des champignons. Braconnot (1) a fait l'analyse immédiate de l'*Æthalium* ; il y a trouvé plus de 20 pour 100 de sels calcaires, une matière adipeuse jaune, etc. ; il n'y signale pas de matière sucrée. En le traitant par l'alcool bouillant, j'ai obtenu une abondante cristallisation de tréhalose.

La présence du tréhalose dans les *Myxomycètes* les rapproche des champignons, s'il est permis d'émettre l'opinion que l'analyse immédiate peut être quelquefois utilement consultée là où les caractères anatomiques sont insuffisants pour déterminer la place que doit occuper un être dans la classification naturelle.

Deuxième Partie.

IDENTITÉ DU TRÉHALOSE ET DU MYCOSE.

M. Mitscherlich (2) a retiré d'un champignon, l'Ergot du seigle, une matière sucrée qu'il a nommée *mycose* et que M. Ludwig a trouvée ultérieurement dans le *Funcus Sambuci*. C'est évidemment la même substance que celle que j'ai obtenue et à laquelle il eût peut-être été rationnel de conserver le nom de *mycose* qui rappelle son origine.

---

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, 1re série, t. LXXX, p. 283.

(2) *Monatsbericht der Akademie der Wissenschaften zu Berlin*, 2 novembre 1857.

M. Berthelot [1] avait déjà remarqué une grande analogie, sinon une identité complète, entre le tréhalose qu'il avait retiré du *trehala* et le mycose de M. Mitscherlich. La différence principale consistait en la valeur des pouvoirs rotatoires, M. Mitscherlich ayant trouvé pour le pouvoir rotatoire de son sucre cristallisé + 173 et M. Berthelot pour le sien + 199. Le sucre de M. Mitscherlich est fermentescible, celui de M. Berthelot ne l'est pas. Enfin, le mycose paraîtrait se déshydrater plus difficilement que le tréhalose du *trehala*.

Ayant eu ces deux sucres à ma disposition, j'ai pu comparer leurs propriétés et constater leur identité complète.

Les sucres sur lesquels j'opérais étaient purifiés par plusieurs cristallisations dans l'alcool; ils offraient tous les caractères de la pureté; ils ne contenaient pas des quantités appréciables de matières minérales. Les dessiccations ont été faites en maintenant pendant trois heures le sucre pulvérisé à une température de 110 degrés. Pour la détermination des pouvoirs rotatoires, je me suis servi du polarimètre à pénombre; les valeurs obtenues sont donc rapportées au rayon jaune.

I. $1^{gr},5$ de tréhalose cristallisé, venant des champignons, cristallisé dans l'eau et en retenant 8,3 pour 100, ont été dissous dans l'eau; le volume a été amené à 25 centimètres cubes; la température était de 15 degrés; la longueur de la colonne liquide de 200 millimètres. On a eu pour déviation du rayon jaune $+ 21^\circ,85$.

Le tréhalose réel employé était de

$$1^{gr},5 - 0,1245 = 1^{gr},3755.$$

D'après la formule employée par M. Berthelot on aura,

---

(1) Mémoire cité.

d'après ces résultats,

$$[a]j = 21^{\circ},85 \times \frac{25}{2 \times 1,3755} = +198,6.$$

II. $1^{gr},5$ de tréhalose séché à 110 degrés, ne contenant plus d'eau et venant également des champignons, ont été dissous dans l'eau; le volume a été amené à 25 centimètres cubes; la température était de 15 degrés; la longueur de la colonne liquide de 200 millimètres.

La déviation du rayon jaune a été de $+23^{\circ},90$; d'où

$$[a]j = 23,90 \times \frac{25}{2 \times 1,5} = +199,5.$$

III. $1^{gr},3$ de tréhalose cristallisé dans l'eau, en retenant 6,4 pour 100 et préparé avec le *tréhala,* ont été dissous dans l'eau et le volume amené à 22 centimètres cubes; la température était de 16 degrés; la longueur de la colonne liquide de 200 millimètres.

La déviation du rayon jaune a été de $22^{\circ},30$.

Le tréhalose réel employé était de

$$1^{gr},300 - 0,083 = 1^{gr},217;$$

d'où

$$[a]j = 22,30 \times \frac{22}{2 \times 1,217} = +201,5.$$

IV. $1^{gr},65$ de tréhalose du *trehala,* séché à 110 degrés, ne contenant plus d'eau, ont été dissous, et le volume amené à $21^{cc},5$; la température était de 14 degrés; la longueur de la colonne liquide de 200 millimètres.

La déviation du rayon jaune a été de $30^{\circ},75$, d'où

$$[a]j = 30,75 \times \frac{21,5}{2 \times 1,65} = +200,3.$$

Les pouvoirs rotatoires du mycose et du tréhalose sont donc identiques et sensiblement égaux à $+200$ pour le sucre déshydraté.

Les deux sucres ont opposé des résistances égales à la fermentation ; au bout de plusieurs jours de contact avec de la levûre de bière, aucun des deux n'avait dégagé de l'acide carbonique en quantité notable.

Enfin la déshydratation des deux sucres pulvérisés et maintenus à 110 degrés pendant quatre heures a été complète. D'après M. Berthelot, tous les autres caractères sont les mêmes. On peut donc considérer le mycose et le tréhalose comme formant une seule et même espèce de sucre, comme M. Berthelot l'avait déjà soupçonné.

Troisième Partie.

FONCTIONS RESPIRATOIRES DES CHAMPIGNONS.

J'ai été amené à étudier la respiration des champignons en cherchant à m'expliquer pourquoi les uns contenaient des sucres ayant la constitution des hydrates de carbone, et les autres du sucre avec excès d'hydrogène. La production de ce dernier faisait supposer qu'il existait, dans certaines espèces, une faculté hydrogénante qui manquait dans d'autres. Les expériences faites dans cette direction n'ont pas abouti à un résultat positif. On est, au contraire, arrivé à cette conclusion que, s'il existait des différences de fonctionnement entre des espèces de champignons souvent très-voisines, cela tenait à la présence de telle ou telle matière sucrée ; c'est-à-dire que la diversité de ces sucres dans les espèces était la cause et non pas l'effet des différences observées dans le mode de respiration.

Une autre cause qui m'a engagé à entreprendre ce travail a été l'incertitude où l'on se trouve encore relativement à la nature des gaz qui sont les produits de la respiration des champignons.

De Humboldt (1) a, le premier, annoncé que des *Agarics,*

---

(1) *Flora fribergensis*, 1793.

placés au soleil ou à l'obscurité, produisaient de l'hydrogène.

Plus tard, de Candolle ([1]) dit avoir constaté que le *Sphœria digitata* et le *Peziza nigra*, exposés sous l'eau au soleil, ont exhalé de l'hydrogène.

Marcet ([2]) a placé différents *Agarics* sous des cloches contenant de l'air; au bout de trois jours, il s'était dégagé une très-petite quantité d'acide carbonique, mais pas d'hydrogène.

Dans d'autres expériences semblables, Marcet trouve que les champignons n'ont pas modifié sensiblement la composition de l'air, ni surtout exhalé de l'hydrogène. Ces mêmes champignons, placés sous l'eau, dégageaient rapidement de l'azote et de l'hydrogène; exposés au soleil, ils produisent ce gaz avec plus d'intensité qu'à l'obscurité. Marcet insiste sur le fait que, dans ces expériences, il est impossible d'attribuer la formation de ces gaz à un commencement de décomposition.

Dans des expériences ultérieures ([3]), le même savant étudie la respiration des champignons placés dans l'air, l'oxygène et l'azote. Il obtient, dans tous les cas, une certaine quantité d'acide carbonique, abondante quand l'atmosphère primitive contenait de l'oxygène, peu abondante dans l'azote. Dans ces expériences il n'obtient pas généralement d'hydrogène et, contrairement à une opinion formulée dans son précédent travail, il admet que l'hydrogène n'est qu'un produit accidentel dû à un commencement de décomposition.

Ses expériences montrent que les champignons absorbent l'oxygène et dégagent à la place de l'acide carbonique et que, si l'oxygène fait défaut, ils produisent de l'acide carbonique aux dépens de leur propre substance.

([1]) *Flore française*, t. II.
([2]) *Annales de Chimie et de Physique*, 2e série, t. XL, p. 318.
([3]) *Bibliothèque universelle de Genève*, t. LVII, p. 393; 1834.

Grischow ([1]) a observé une trace d'hydrogène en plaçant différents champignons dans de l'air.

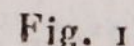
Les conditions dans lesquelles se produit l'hydrogène sont donc loin d'être nettement déterminées, puisque certains observateurs en trouvent là où d'autres n'en trouvent pas. L'exhalation de ce gaz ne paraît même pas absolument démontrée, puisque, dans son *Traité de Physiologie végétale* ([2]), M. Sachs dit que cette exhalation d'hydrogène, déjà signalée par Humboldt, est fort douteuse. Il était donc nécessaire de reprendre ce sujet pour faire cesser la confusion qui règne sur cette question.

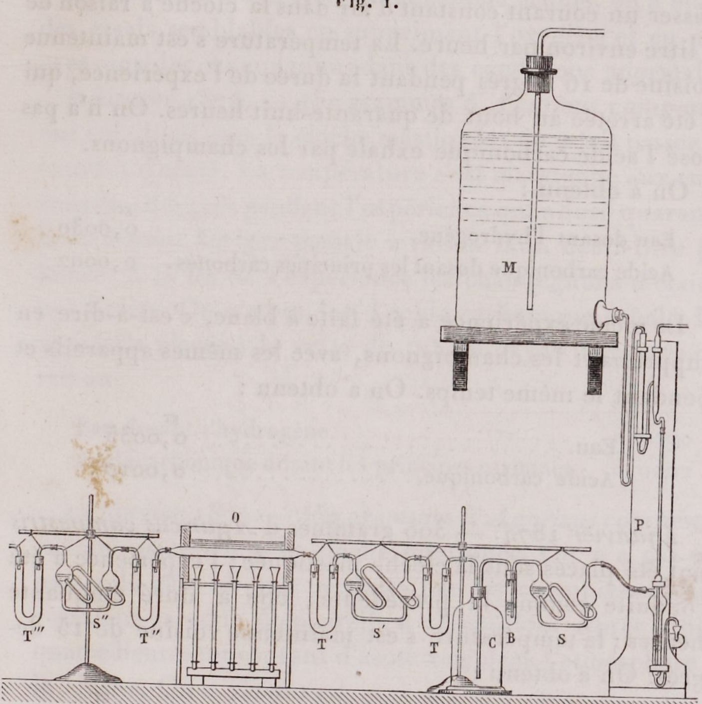
Mes essais ont porté d'abord sur le champignon des couches, *Agaricus campestris,* qui remplit, en raison de sa consistance de chair ferme, des conditions de conservation qu'on ne trouve pas dans toutes les espèces et qu'il est facile de se procurer dans un état de fraîcheur parfait. Ces qualités, jointes à ce fait qu'il ne contient qu'une seule espèce de matière sucrée, la mannite, m'ont engagé à l'employer de préférence dans mes expériences. D'autres espèces, le *Cantharellus cibarius,* etc., ne contenant aussi que de la mannite, ont donné les mêmes résultats. J'ai ensuite répété la même série d'essais sur des espèces ne contenant également qu'une seule matière sucrée, le tréhalose; j'ai choisi les *Agaricus sulfureus* et *Eringii,* très-communs dans les forêts, où ils poussent de préférence, le premier sur l'humus des troncs d'arbre, le second sur des racines qui sont presque à fleur de terre.

Dans la première série d'expériences les champignons, venant d'être cueillis, étaient placés sous une cloche mastiquée sur un disque de verre dépoli; l'air ou l'azote étaient amenés par une petite trompe P (*fig.* 1), d'une disposition particulière, dite *trompe à perles* et due à

([1]) Cité par Sachs, *Physiologie végétale.*
([2]) Traduction française, p. 297.

M. Schlœsing. Les gaz traversaient d'abord un tube à serpentin S [1] contenant de la potasse, un barboteur B renfermant de l'acide sulfurique et se rendaient dans la cloche C contenant les champignons. Les gaz sortant de la cloche traversaient un tube à ponce sulfurique T, un second


Fig. 1.



tube à serpentin S', un autre tube à ponce sulfurique, un tube O contenant de l'oxyde de cuivre chauffé au rouge sur une grille à gaz et finalement les tubes T'', S'', T''' destinés à retenir l'eau et l'acide carbonique provenant des gaz combustibles. Pour faire passer de l'azote, on interpo-

---

[1] Ces tubes, employés par M. Schlœsing, opèrent un lavage parfait des gaz.

sait, entre la trompe P et le tube S, un tube en verre de Bohême semblable à O, mais contenant du cuivre réduit qui retenait l'oxygène de l'air et fournissait de l'azote pur.

29 *décembre* 1873.— 250 grammes d'*Agaricus campestris* ont été placés sous la cloche mastiquée, mise en communication avec les appareils à absorption. On faisait passer un courant constant d'air dans la cloche à raison de 1 litre environ par heure. La température s'est maintenue voisine de 16 degrés pendant la durée de l'expérience, qui a été arrêtée au bout de quarante-huit heures. On n'a pas dosé l'acide carbonique exhalé par les champignons.

On a obtenu :

	gr
Eau dosant l'hydrogène....................	0,0030
Acide carbonique dosant les principes carbonés.	0,0002

La même expérience a été faite à blanc, c'est-à-dire en supprimant les champignons, avec les mêmes appareils et pendant le même temps. On a obtenu :

	gr
Eau..............................	0,0035
Acide carbonique................	0,0010

4 *janvier* 1874. — 300 grammes d'*Agaricus campestris* ont été placés sous la cloche mastiquée ; l'expérience a été conduite comme la précédente ; elle a duré cinquante heures ; la température s'est maintenue voisine de 15 degrés. On a obtenu :

	gr
Eau dosant l'hydrogène....................	0,0022
Acide carbonique dosant les principes carbonés.	0,0007

L'expérience à blanc, qui a duré quarante-six heures, a donné :

	gr
Eau..............................	0,0020
Acide carbonique................	0,0005

Ces deux expériences et d'autres semblables montrent

que dans l'air atmosphérique constamment renouvelé l'*Agaricus campestris* n'a pas dégagé d'hydrogène ni de gaz carboné combustible et que la petite augmentation de poids des tubes absorbants est due à une imperfection des appareils, imperfection dont l'effet a été augmenté par la durée des expériences.

Considérant donc ce résultat comme acquis, on a établi des essais semblables en supprimant l'oxygène et en plaçant ainsi les champignons dans des conditions anormales.

9 *janvier* 1874. — 150 grammes d'*Agaricus campestris* ont été placés sous la cloche mastiquée ; on a fait passer un courant d'azote. La température s'est maintenue aux environs de 16 degrés pendant l'expérience qui a duré quarante-huit heures. Le gaz passait à raison d'un demi-litre par heure. A la fin de l'expérience les champignons n'étaient pas altérés. On n'a pas dosé l'acide carbonique exhalé. Les appareils placés à la suite du tube à oxyde de cuivre ont retenu :

	gr
Eau dosant l'hydrogène....................	0,0090
Acide carbonique dosant les principes carbonés.	0,0002

11 *janvier* 1874. — 450 grammes d'*Agaricus campestris* ont été placés sous la cloche mastiquée. On n'a pas fait passer de gaz ; les gaz produits par les champignons traversaient la série d'appareils à absorption. Après vingt-quatre heures un courant d'azote a déplacé l'atmosphère de la cloche. On a obtenu :

	gr
Acide carbonique exhalé par les champignons.	0,0344
Eau dosant l'hydrogène..................	0,0080
Acide carbonique dosant les principes carbonés.	0,0005

Immédiatement après, la même expérience a été faite à blanc. On a obtenu :

	gr
Eau...........................	0,0020
Acide carbonique.............	0,0005

La cloche contenant les champignons, séjournant depuis quarante-six heures dans l'azote, a été remise en communication avec les appareils à absorption ; l'atmosphère de la cloche a été déplacée par de l'azote.

On a obtenu :

	gr
Acide carbonique dégagé par les champignons.	0,7230
Eau dosant l'hydrogène....................	0,0065
Acide carbonique dosant les principes carbonés.	0,0005

Une seconde fois on a fait marcher à blanc ; on a obtenu :

	gr
Eau....................	0,0025
Acide carbonique..............	0,0010

Ces expériences et d'autres semblables, que je ne reproduirai pas ici, montrent :

1° Qu'il n'y a pas, du moins en quantité appréciable, de principes carbonés combustibles dégagés pendant la respiration des champignons à l'abri de l'oxygène.

2° Elles semblent indiquer que dans ces conditions il se produit une petite quantité d'hydrogène.

3° Elles montrent qu'en l'absence de l'oxygène les champignons dégagent des quantités notables d'acide carbonique.

Les quelques milligrammes d'eau recueillie, attribuable à l'hydrogène dégagé par les champignons lorsqu'ils sont privés de l'action de l'oxygène, me paraissant insuffisants pour établir définitivement la production de ce gaz, j'ai eu recours à l'analyse eudiométrique, en employant les procédés de M. Bunsen, tels qu'ils sont pratiqués dans le laboratoire de M. Boussingault.

26 *janvier* 1874. — 330 grammes d'*Agaricus campestris* ont été placés dans un ballon qu'on a rempli d'acide carbonique. Après deux jours, les gaz contenus dans le ballon ont été extraits par la pompe de Sprengel et recueillis sur

le mercure, dans une cloche contenant une dissolution de potasse. On a obtenu : gaz non absorbable par la potasse $43^{cc},4$ à zéro et 760 millimètres de pression.

Tous les volumes de gaz sont ramenés à zéro et 760 millimètres de pression. Une partie de ce gaz a été introduite dans l'eudiomètre ; on a ajouté de l'oxygène :

	cc
Volume du gaz dans l'eudiomètre.	12,3
Après introduction d'oxygène....	19,1
Après passage de l'étincelle.......	7,8
Gaz brûlé....................	11,3 = H $7^{cc},5$.

Après l'introduction d'une balle de potasse le volume n'a pas varié.

Le résidu était formé par de l'oxygène mis en excès et de l'azote. Le gaz introduit dans l'eudiomètre contenait $7^{cc},5$ d'hydrogène et pas de gaz carboné. Les $43^{cc},4$ de gaz non absorbable par la potasse contenaient donc $26^{cc},4$ d'hydrogène. Les champignons ne présentaient pas de signes d'altération ; leurs tissus, examinés au microscope, ne renfermaient pas les vibrions qui se produisent dès qu'il y a passage à la putréfaction.

11 *juillet* 1874. — 200 grammes d'*Agaricus campestris* ont été placés dans un ballon muni d'un bouchon de caoutchouc portant deux tubes dont l'un était en communication avec un générateur d'acide carbonique, et dont l'autre conduisait les gaz sous une cloche placée sur le mercure et contenant une dissolution concentrée de potasse. Le ballon a été rempli d'acide carbonique et le tube abducteur placé sous la cloche. Un courant très-lent et continu d'acide carbonique passait dans le ballon et empêchait, en maintenant la pression intérieure, l'introduction accidentelle de gaz atmosphérique. Au bout de trente-six heures on a chassé sous la cloche, au moyen d'un courant soutenu d'acide carbonique, le gaz contenu dans le ballon.

On a obtenu :

	cc
Gaz non absorbable	120,00
On a introduit dans l'eudiomètre, gaz	18,70
Après addition d'oxygène	26,43
Après passage de l'étincelle	19,41
Après introduction d'une balle de potasse	19,41
Gaz brûlé	7,02 = H 4^{cc},68

soit, pour les 120 centimètres cubes de gaz recueilli :

H = 30^{cc},03.

Le gaz résidu était formé par de l'oxygène introduit en excès et de l'azote.

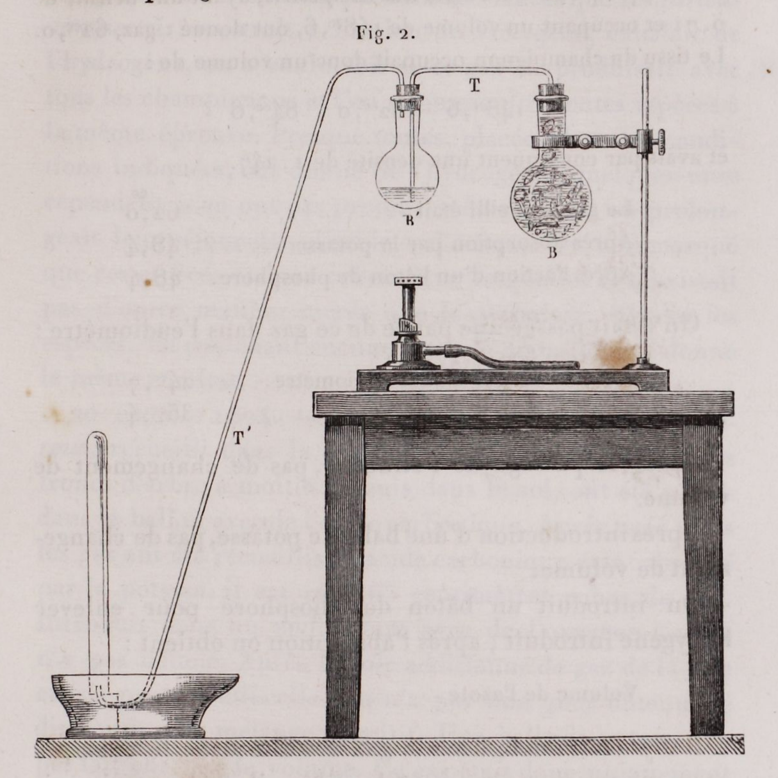
Pendant la durée de cette expérience la température s'est maintenue entre 20 et 25 degrés. Les champignons ne présentaient pas d'indices d'altération ; les vibrions n'avaient pas encore fait leur apparition ; mais, l'expérience étant terminée, on a abandonné ces champignons à eux-mêmes pendant quarante-huit heures ; au bout de ce temps leurs tissus se sont ramollis en quelques endroits et ont montré dans les parties altérées une abondante population de vibrions.

Je ne rapporterai pas d'autres expériences qui, faites dans des conditions semblables, ont donné des résultats identiques avec les précédents.

On remarque que dans le gaz recueilli il y a toujours une grande quantité d'azote. On a pensé que cet azote était confiné dans les cellules du végétal, et pour éclaircir cette question on a analysé l'atmosphère contenue dans les champignons. A cet effet, on les a soumis à l'ébullition dans de l'eau, privée préalablement des gaz dissous, et l'on a recueilli sur le mercure les gaz qui se dégageaient. L'appareil dont je me suis servi est le suivant ; son emploi met à l'abri des inconvénients que cause la mousse qui se produit abondamment. Le ballon B (*fig.* 2) contient les

champignons ; il est complétement rempli d'eau préalablement bouillie et refroidie à l'abri du contact de l'air ; il est fermé par un bouchon de caoutchouc portant le tube T deux fois recourbé et entièrement rempli d'eau. Ce tube plonge au fond d'un ballon B' également fermé

Fig. 2.



par un bouchon de caoutchouc et contenant un peu d'eau ; le tube T' amène les gaz sous la cloche. On commence par faire bouillir l'eau en B' ; quand le vide est produit, on chauffe B. La mousse qui passe par le tube T reste dans le ballon B'. Quand tout le gaz s'est dégagé du ballon B, on détermine de nouveau l'ébullition en B' ; le gaz se trouve ainsi chassé sous la cloche, en même temps qu'une très-petite quantité d'eau.

Cette atmosphère, contenue dans les champignons, était toujours formée uniquement par de l'acide carbonique et de l'azote ; on n'a pu y trouver ni oxygène, ni gaz combustible.

Exemple : $105^{gr},5$ d'*Agaricus campestris,* ayant une densité de 0,71 et occupant un volume de $148^{cc},6$, ont donné : gaz, $62^{cc},0$. Le tissu du champignon occupait donc un volume de :

$$148^{cc},6 - 62^{cc},0 = 84^{cc},6$$

et avait par conséquent une densité de 1,247.

Le gaz recueilli était	$62^{cc},0$
Après absorption par la potasse	48,4
Après l'action d'un bâton de phosphore	48,4

On a fait passer une partie de ce gaz dans l'eudiomètre :

Volume du gaz dans l'eudiomètre	$24^{cc},7$
Après addition d'oxygène	$35^{cc},4$

Après le passage de l'étincelle, pas de changement de volume.

Après introduction d'une balle de potasse, pas de changement de volume.

On introduit un bâton de phosphore pour enlever l'oxygène introduit ; après l'absorption on obtient :

Volume de l'azote	$24^{cc},9$.

Il n'y avait donc, dans le gaz confiné dans le champignon, ni oxygène ni gaz combustible ; il se composait uniquement d'un mélange d'acide carbonique et d'azote, formé dans les proportions de :

Acide carbonique	$21^{cc},93$
Azote	78,07
	100,00

Cette composition est voisine de celle de l'air atmosphé-

rique dont l'oxygène aurait été remplacé par de l'acide carbonique. M. Boussingault m'a communiqué qu'il avait trouvé des résultats semblables dans des expériences inédites, déjà anciennes.

Après avoir démontré par ces expériences que l'*Agaricus campestris*, soustrait à l'action de l'oxygène, exhalait de l'hydrogène, on a voulu voir si ce gaz se produisait avec tous les champignons et l'on a soumis différentes espèces à la même épreuve. Presque toutes, placées dans les conditions indiquées, ont donné de l'hydrogène ; quelques-unes cependant n'en ont pas produit, même quand on prolongeait leur séjour dans l'acide carbonique. On a remarqué que ces espèces étaient celles dans lesquelles il n'existait pas d'autre matière sucrée que le tréhalose. Toutes les espèces, ne contenant aucune trace de mannite, ont donné le même résultat.

20 *octobre* 1874. — 225 grammes d'*Agaricus sulfureus*, recueilli dans la forêt de Liebfrauenberg, sur des troncs d'arbre à moitié enfouis dans le sol, ont été placés dans le ballon avec de l'acide carbonique. Après trois jours les gaz ont été recueillis ; l'acide carbonique étant absorbé par la potasse, il est resté 65 centimètres cubes de gaz. Introduit dans un eudiomètre avec de l'oxygène, ce gaz n'a pas détoné. Après l'avoir additionné de gaz de la pile et fait passer l'étincelle, on n'a pas non plus obtenu de diminution du mélange primitif. Une balle de potasse n'a pas fait changer le volume. Ce gaz était donc uniquement formé par de l'azote qui peut être attribué à l'atmosphère confinée dans le champignon.

Les mêmes champignons ont encore été placés dans l'acide carbonique pendant douze jours. Tous les deux jours on recueillait le gaz qui les baignait et on le remplaçait par de l'acide carbonique pur. Tous les produits gazeux ont été recueillis dans une même cloche contenant de la potasse. On a obtenu 47 centimètres cubes de gaz non absor-

bable qui, traité par les procédés ordinaires de l'eudiométrie, s'est trouvé composé d'azote à peu près pur. Au bout de ces douze jours les champignons étaient profondément altérés. Ces expériences montrent que l'exhalation d'hydrogène bien nettement constatée pour certains champignons tient à la présence de la mannite dans leurs tissus, puisque des espèces très-voisines, qui n'en diffèrent que par la substitution du tréhalose à la mannite, n'ont pas donné de l'hydrogène quand on les a placés dans les mêmes conditions.

M. Berthelot a constaté (¹) que la mannite, au contact de certaines matières albuminoïdes, dégageait de l'hydrogène et de l'acide carbonique et produisait de l'alcool. On a cru devoir rechercher l'alcool dans les champignons placés soit dans les conditions normales, en présence de l'air atmosphérique, soit à l'abri de l'oxygène.

Pour rechercher l'alcool, on introduisait les champignons dans un grand ballon avec de l'eau ; on distillait en recueillant le premier quart du liquide qui passait et on le soumettait à une rectification dans un appareil à boules (²). L'alcool étant ainsi concentré dans une petite quantité d'eau, on mettait le liquide obtenu avec un excès de carbonate de potasse pur et cristallisé ; l'alcool surnageait et pouvait être recueilli. On a constaté ses caractères essentiels (transformation en iodoforme, etc.)

150 grammes d'*Agaricus campestris* ayant vécu à l'air ont donné une trace douteuse d'alcool.

200 grammes des mêmes Agarics placés pendant quarante-huit heures dans l'acide carbonique ont donné environ $3^{cc},5$ d'alcool (tel qu'il s'est séparé de la dissolution de carbonate de potasse). Un grand nombre d'expériences instituées de la même manière ont donné le même résultat.

(¹) *Annales de Chimie et de Physique*, 3ᵉ série, t. L, p. 322.

(²) Système de MM. Henninger et Le Bel.

C'est donc à une fermentation alcoolique de la mannite qu'on peut attribuer le dégagement d'hydrogène qui se produit dans les champignons placés à l'abri du contact de l'oxygène.

Les champignons ne contenant que du tréhalose ont donné également de l'alcool après leur séjour dans l'acide carbonique. Ce sucre subit donc, dans ces conditions, la fermentation alcoolique. Il est évident, d'après ces résultats, que l'acide carbonique produit par les champignons soustraits à l'influence de l'oxygène vient, du moins en partie, de cette transformation de la matière sucrée dans l'intérieur des cellules.

La mannite subit difficilement la fermentation alcoolique. M. Berthelot a cependant montré (¹) qu'au contact de certaines matières albuminoïdes elle donnait de l'alcool, de l'acide carbonique et de l'hydrogène. M. Berthelot admet que cette transformation se produit sans l'intervention d'êtres organisés, par une action de contact, due à la présence de certaines matières albuminoïdes, c'est-à-dire qu'il rapproche cette action des fermentations chimiques, telles que celle que la diastase fait subir à l'amidon.

La levûre de bière peut également faire subir à la mannite une fermentation alcoolique qui, quoique infiniment plus lente que la fermentation des sucres proprement dits, est cependant fort appréciable.

19 *janvier* 1874. — 10 grammes de mannite dissoute dans 250 centimètres cubes d'eau ont été introduits dans un ballon avec 30 grammes de levûre fraîche, contenant : levûre sèche, 5^{gr},10. La température était voisine de 25 degrés ; les gaz produits étaient recueillis sous une cloche contenant une dissolution de potasse. L'expérience

(¹) *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. L, p. 322.

a duré jusqu'au 29 janvier, c'est-à-dire dix jours. Au bout de ce temps on avait recueilli sous la cloche $94^{cc},5$ de gaz non absorbable qui contenaient : hydrogène, 86 centimètres cubes.

Le liquide contenu dans le ballon renfermait une quantité très-appréciable d'alcool ; la levûre paraissait bien portante.

Cette transformation de la mannite est-elle le résultat d'une fermentation normale ou bien est-elle produite par le contact de la matière albuminoïde de la levûre? C'est une question que des recherches que j'ai faites récemment sur ce sujet me permettent de résoudre aujourd'hui. J'ai en effet constaté (1) que le chloroforme permettait d'établir une distinction entre les ferments chimiques et les ferments physiologiques. L'expérience de la fermentation de la mannite a été répétée en présence de chloroforme. On n'a obtenu ni dégagement d'acide carbonique et d'hydrogène, ni production d'alcool. La fermentation alcoolique de la mannite, au contact de la levûre de bière, est donc due à un acte vital comme la fermentation alcoolique ordinaire.

Cette fermentation alcoolique de la mannite et du tréhalose, produite à l'intérieur des tissus des champignons et sans intervention d'un ferment spécial, peut se rapprocher de phénomènes analogues que MM. Lechartier et Bellamy (2) ont observés dans les fruits. Dans ces expériences, il y a également production d'alcool sans qu'on puisse observer la formation d'êtres organisés. Le rapprochement a d'autant plus de raison d'être que le champignon, tel qu'il a servi à mes recherches, constitue lui-même l'organe de la fructification.

---

(1) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, 17 mai 1875.

(2) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. LXXV, p. 1203, et t. LXXIX, p. 106.

Ce phénomène n'est pas dû à une fonction normale, il constitue un état morbide produit sous l'influence de circonstances qui ne se rencontrent qu'exceptionnellement dans la nature. En effet, les végétaux sont à peu près toujours placés dans un milieu, aérien ou aqueux, où l'oxygène ne leur fait pas défaut. Cet état morbide est cependant fort distinct de l'état d'altération que caractérise la présence d'organismes étrangers.

Quand on prolonge les expériences, il est difficile d'éviter l'apparition des vibrions ; mais l'expérience suivante montre que leur rôle est nul dans le phénomène dont je parle.

16 *juillet* 1874. — 450 grammes d'*Agaricus campestris* parfaitement sains ont été placés dans le ballon rempli d'acide carbonique. Après vingt-quatre heures le gaz a été balayé par un courant d'acide carbonique et recueilli sous une cloche contenant de la potasse. On a obtenu :

Gaz non absorbable............ $185^{cc},0$

qui ont donné par les procédés eudiométriques :

Hydrogène.................. $130^{cc},4$.

On a examiné au microscope les champignons qui paraissaient les moins bien portants ; on n'a cependant pas pu observer une altération que la présence des vibrions aurait nettement indiquée.

Les mêmes champignons contenus dans le ballon ont été replacés dans les mêmes conditions. De temps en temps le gaz était recueilli et analysé, et les champignons soumis à l'examen microscopique. Voici le résumé de ces observations :

1re journée, 16 juillet, hydrogène dégagé....	$130^{cc},4$
Pas d'altération.	
4e journée, gaz produit les 17, 18, 19 juillet.	130,0
$23^{cc},6$ de ce gaz contenaient : hydrogène....	16,6

d'où

Hydrogène contenu dans les $130^{cc},0$........ 91,4.

Un petit nombre de champignons présentaient des parties dans lesquelles apparaissaient quelques vibrions.

Gaz de la 7e journée, 20, 21, 22 juillet....	$55^{cc},0$
$22^{cc},9$ de ce gaz contenaient : hydrogène...	10,6

d'où

Hydrogène contenu dans les $55^{cc},0$........ 25,4

L'altération des champignons est manifeste; en beaucoup d'endroits ils sont ramollis et présentent des taches noirâtres. Des organismes animaux, parmi lesquels les vibrions dominent, peuplent les parties altérées.

Gaz de la 14e journée, 28, 29 juillet......	$45^{cc},5$
$26^{cc},4$ de ce gaz contenaient : hydrogène...	0,3

d'où

Hydrogène contenu dans les $45^{cc},5$........ 0,5

A ce moment la décomposition est très-avancée, tous les Agarics se foncent en couleur, deviennent mous, et quelques-uns laissent exsuder du liquide qui se rassemble au fond du ballon. La vie animale est très-active, aucune particule ne se montre exempte de monades, de vibrions.

Cette expérience fait voir que la production d'hydrogène atteint son plus haut degré avant l'apparition des organismes amenant l'altération; qu'elle continue, mais en diminuant d'intensité, à mesure que ces organismes deviennent plus nombreux et que, lorsque l'altération complète, la pourriture s'établit, les gaz recueillis sont presque totalement exempts d'hydrogène. Ce n'est donc pas à l'existence d'organismes étrangers qu'il faut attribuer la production d'hydrogène, mais bien à une propriété spéciale

des tissus du champignon, qui se manifeste en l'absence de l'oxygène. Les expériences de Marcet et de de Candolle conduisent aussi à la conclusion que l'hydrogène n'est pas un produit d'altération.

Pour savoir si les champignons qui ont séjourné dans l'acide carbonique et qui y ont manifesté une fonction spéciale peuvent, étant replacés dans les conditions normales en présence de l'air atmosphérique, reprendre leur travail de combustion ordinaire, on a fait l'expérience suivante :

105 grammes d'*Agaricus campestris* ont été placés dans l'acide carbonique pendant trente-six heures ; au bout de ce temps, ils avaient produit 46 centimètres cubes d'hydrogène ; ils ne présentaient pas d'indices d'altération. Ils ont ensuite été soumis à un courant d'air atmosphérique pendant le même temps ; le gaz produit passait sur de l'oxyde de cuivre chauffé ; on a employé l'appareil décrit plus haut. Le tube à ponce sulfurique a absorbé :

Eau dosant l'hydrogène.......... $0^{gr},0035$.

Si, dans cette dernière expérience, le champignon avait fonctionné comme dans la première, où il était à l'abri du contact de l'oxygène, on aurait obtenu :

Eau dosant l'hydrogène......... $0^{gr},0383$.

Ainsi, après avoir fonctionné avec la production d'hydrogène dans un milieu exempt d'oxygène, les champignons ont de nouveau pu, en présence de l'air, reprendre leur état vital ordinaire, caractérisé par la formation des produits ultimes de la combustion.

Sans parler de cette combustion complète en présence de l'oxygène, qui est hors de doute depuis longtemps, je crois avoir démontré, par les expériences qui précèdent, qu'en l'absence de l'oxygène les champignons exhalent de l'acide carbonique qui provient, du moins en partie, d'une

fermentation alcoolique du sucre contenu dans les tissus; que lorsque le sucre est de la mannite, il y a en même temps un dégagement d'hydrogène; que cette fonction s'établit sans l'intervention d'êtres organisés et paraît différer en cela des fermentations proprement dites. On peut cependant admettre que cette formation d'alcool rentre dans le cas des fermentations alcooliques ordinaires en considérant qu'il n'est pas improbable que le tissu des champignons supérieurs joue, vis-à-vis de la matière sucrée, le même rôle que les cellules des champignons inférieurs, c'est-à-dire que les premiers pourraient être ferments au même titre que les seconds et qu'on assimilerait, sans égard pour la différence des dimensions, les fonctions des uns à celles des autres.

Les considérations suivantes viennent appuyer cette idée: la constitution de leurs tissus ne diffère pas essentiellement; les mêmes principes entrent dans leur composition; leur fonction, au contact de l'oxygène, est la même (j'excepte la levûre de bière, sur laquelle je reviendrai), et ce qui constitue un rapprochement de plus c'est l'existence, dans les espèces inférieures constituant les moisissures, des mêmes matières sucrées que celles qui se trouvent dans les champignons supérieurs.

On peut donc admettre, d'après les considérations précédentes, que la fermentation alcoolique se produit dans toutes les espèces de la classe des champignons par une même action vitale, et l'on peut, dès lors, énoncer comme règle générale que *tous les champignons, soustraits à l'action de l'oxygène, transforment en alcool et acide carbonique les sucres dont ils disposent.* Lorsque le sucre est de la mannite, cette transformation est accompagnée d'un dégagement d'hydrogène. Le type de cette action est la levûre de bière, ferment proprement dit; les moisissures (*Penicillium, mucor*) ont la même fonction en l'absence de l'oxygène, et l'on voit par ce qui précède que

les champignons supérieurs obéissent également à cette règle.

La règle générale que je viens d'énoncer ne m'a pas présenté d'exceptions; s'il s'est rencontré des espèces à consistance ferme et sèche, presque ligneuse, comme le *Polyphorus destructor,* qui n'ont pas manifesté la fermentation alcoolique dans les conditions indiquées, c'est que ces champignons ne contenaient pas de matière sucrée, du moins je n'ai pas pu y en trouver. Dans ces espèces le sucre paraît remplacé par un acide, quelquefois très-abondant, dont je n'ai pas examiné la nature.

Il n'est pas étonnant de voir l'hydrogène brûlé, à l'état naissant, par l'oxygène atmosphérique, puisque, selon de Saussure [1], l'acide carbonique dégagé par les plantes peut lui-même produire cet effet: il avait placé des plantes dans l'hydrogène; ce gaz a été transformé en eau par l'acide carbonique dégagé qui, lui-même, passait à l'état d'oxyde de carbone. Dans les champignons cette combustion par l'acide carbonique ne se produit pas; je n'ai jamais observé de production d'oxyde de carbone.

Il est facile d'expliquer pourquoi Marcet arrive à des résultats contradictoires. Si, dans certaines expériences, il obtient de l'hydrogène, c'est qu'il opère en présence de très-peu d'air dont l'oxygène est rapidement enlevé; on est alors dans le cas d'un milieu non comburant; au contraire, chaque fois qu'il emploie de grandes cloches, le champignon se trouve, pendant toute la durée de l'expérience, en présence d'un excès d'oxygène. Le dégagement d'hydrogène observé dans l'eau tient à la suppression de l'air; le cas est alors le même que dans un gaz inerte. Si, dans l'azote, Marcet n'a pas observé de production d'hydrogène, cela tient probablement à ce qu'il mettait le

---

[1] *Recherches chimiques sur la végétation*, p. 209.

champignon en présence d'un trop grand volume de gaz; la petite quantité d'hydrogène produite, se trouvant mélangée à beaucoup d'azote, aura pu lui échapper. L'emploi de l'acide carbonique a l'avantage de permettre de concentrer l'hydrogène dans un petit volume.

Les champignons en général, placés dans les conditions normales, c'est-à-dire dans l'air ou dans un liquide aéré, absorbent l'oxygène et dégagent un volume égal d'acide carbonique. La levûre de bière, cependant, fait exception à cette règle. J'ai fait un grand nombre d'essais pour faire rentrer la levûre dans le vaste groupe caractérisé par la combustion complète. Quoique toutes ces expériences aient donné des résultats négatifs, j'en rapporterai quelques-unes pour montrer la direction donnée à mes recherches.

La levûre du commerce est très-impure; elle contient, outre une quantité notable d'amidon, les germes d'organismes étrangers. J'ai donc dû, avant de commencer mes recherches, préparer une levûre qui se rapprochât le plus possible de la pureté. L'infusion d'orge germée m'a servi de milieu pour y développer la levûre. De petites cuvettes de photographie, recouvertes de plaques de verre, étaient placées dans une caisse en bois recouverte elle-même d'une plaque de verre; les cuvettes contenaient du moût de bière. Tout étant ainsi disposé, on a placé, pendant deux heures, la caisse dans une étuve chauffée à 100 degrés; on a ensuite laissé refroidir, et, en soulevant légèrement les plaques de verre, on a semé une trace de levûre ordinaire dans le liquide. Au bout de deux ou trois jours, les globules semés se sont multipliés. On a alors refait l'opération sur du moût disposé de la même manière, en se servant, pour l'ensemencer, d'une goutte du liquide précédent rempli de cellules de levûre. Cette seconde culture, déjà assez pure, a servi à ensemencer du moût préalablement bouilli, contenu dans de grands ballons.

Le contact de l'air ordinaire a été évité autant que possible. Dans ces ballons il s'est développé, au bout de dix à quinze jours, une notable quantité de levûre qui, examinée au microscope, s'est montrée sensiblement pure; on n'a pu y découvrir, comme organismes étrangers, que quelques rares vibrions lactiques et quelques cellules de *mycoderma vini*. Cette levûre, rapidement jetée sur un linge et exprimée, a servi aux expériences que je vais décrire. Quoique sa pureté n'ait pas été absolue, elle a paru suffisamment dépourvue de germes étrangers pour que les résultats obtenus n'en fussent pas affectés.

Pour voir si la levûre possède la faculté d'opérer la combustion complète quand on la met avec l'oxygène en excès, on recueillait l'acide carbonique produit aux dépens d'une quantité connue de glucose. S'il se produit une combustion complète aux dépens d'une petite quantité de glucose seulement, l'acide carbonique augmente dans une forte proportion. Ainsi, chaque milligramme de glucose, passant par la fermentation alcoolique, fournit $0^{mg},49$ d'acide carbonique (chiffre théorique), tandis que, brûlant complétement, il en donne trois fois autant, c'est-à-dire $1^{mg},47$. Il était donc facile de constater, par la quantité d'acide carbonique produit, si un effet comburant avait lieu.

Le glucose employé avait été préparé au moyen du sucre interverti; il avait subi deux cristallisations dans l'alcool et était complétement débarrassé de lévulose; son pouvoir rotatoire a été trouvé égal à + 55.

12 *juin* 1874. — 1 gramme de glucose, contenant $0^{gr},992$ de glucose réel et $0^{gr},008$ d'eau, a été dissous dans 40 centimètres cubes d'eau; la solution a été placée dans une éprouvette assez étroite; on y a ajouté $0^{gr},5$ de levûre, contenant levûre sèche, $0^{gr},080$. Un bouchon en caoutchouc, à 2 tubulures, fermait cette éprouvette; un tube plongeant jusqu'au fond amenait le gaz oxygéné; un tube

abducteur communiquait avec une série d'appareils destinés à absorber l'eau et l'acide carbonique. L'éprouvette plongeait dans un bain d'eau qu'un thermo-régulateur de M. Schlœsing maintenait à la température de 32 degrés. Pendant vingt-quatre heures on a fait passer un courant de gaz composé de 60 parties d'oxygène et de 40 parties d'azote, qui se dépouillaient préalablement des traces d'acide carbonique qu'ils pouvaient contenir en passant sur de la ponce potassée. Le tube qui amenait ce gaz plongeait jusqu'au fond de l'éprouvette, traversait le liquide sucré dans toute sa hauteur et maintenait, par les bulles de gaz qu'il dégageait, la levûre en suspension. A la fin de l'expérience on a porté la température à 80 degrés, tant pour arrêter la fermentation que pour dégager l'acide carbonique dissous dans le liquide.

Au bout de vingt-quatre heures, on a retrouvé :

Glucose non détruit par la fermentation . . 0gr, 179 (¹)

et l'on a obtenu :

Acide carbonique. . . . . 0gr, 380.

Dans son mémorable travail sur la fermentation alcoolique, M. Pasteur a trouvé expérimentalement que la quantité d'acide carbonique produite était toujours inférieure à celle que la théorie de Lavoisier indiquerait. J'ai adopté, comme caractérisant une fermentation alcoolique normale, les chiffres que donne M. Pasteur (¹) pour des expériences faites à l'abri de l'air.

Pour une quantité de glucose égale aux 0gr, 813 de glucose disparus dans cette expérience, M. Pasteur aurait eu : acide carbonique, 0gr, 3803. C'est exactement le chiffre

(¹) Dosé par la liqueur de Fehling.

(¹) *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. LVIII, p. 348.

que j'ai obtenu ; l'action du courant d'oxygène a donc été nulle.

16 *juin* 1874. — Même mode d'opérer que dans l'expérience précédente :

Glucose réel employé.	gr 0,947
Levûre supposée sèche.	0,080

Température 30°.
Durée de l'expérience : 28^h.

Le gaz qui passait contenait 80 pour 100 d'oxygène et 20 d'azote. On a obtenu :

Acide carbonique. . . . . $0^{gr},440$

Tout le glucose avait disparu.

Dans une fermentation normale on aurait, d'après les résultats obtenus par M. Pasteur :

Acide carbonique équivalant au glucose disparu. $0^{gr},443$

Ici encore aucune combustion ne s'était produite, quoique les conditions aient été exceptionnellement favorables.

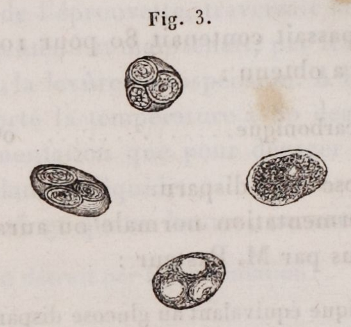
D'autres expériences semblables, faites en employant soit un courant d'air, soit un courant d'oxygène ne contenant que très-peu d'azote, ont donné les mêmes résultats.

Ainsi la levûre de bière a refusé, même étant placée dans les conditions les plus favorables, de fonctionner comme les autres champignons. Elle n'a pas produit la combustion complète, même en présence d'un grand excès d'oxygène.

L'examen microscopique était fait après chaque opération ; dans les cas où ces expériences ont été de courte durée, la levûre n'avait subi aucun changement sensible ; mais quand le gaz oxygéné traversait pendant plusieurs jours le liquide, tenant la levûre en suspension, celle-ci

changeait notablement d'aspect ; on voyait en outre apparaître de nombreuses cellules de *mycoderma vini,* dont le germe préexistait dans la levûre et dont le développement aura été favorisé par le contact de l'oxygène. Un grand nombre de cellules de levûre s'étaient modifiées ; elles offraient des cloisons qui simulaient des vacuoles et qui se transformaient souvent en des corps ovoïdes, ordinairement au nombre de trois, qui remplissaient la cellule (*fig.* 3).

Fig. 3.



M. Rees, dans un remarquable travail sur les champignons de la fermentation alcoolique [1], a décrit ce phénomène avec beaucoup de détails. Les ascospores observés répondent entièrement à ceux que M. Rees obtenait en faisant végéter la levûre sur un milieu très-pauvre, en présence de l'air, et que M. Engel [2] a réussi à reproduire en maintenant la levûre sur du plâtre humide. Les conditions dans lesquelles j'ai opéré diffèrent de celles de ces deux expérimentateurs ; en effet, dans mes expériences, la levûre était immergée.

Cependant le passage rapide d'air ou d'oxygène pouvait remplacer le contact constant de l'air et ces résultats fournissent une preuve de plus que la sporulation de la levûre

---

(1) *Alkoholgaerungs pilze,* Leipzig, 1870.
(2) Thèses de Paris.

a besoin d'oxygène pour se produire ; elles font aussi penser, comme M. Rees l'affirme, qu'un milieu pauvre est favorable à cet acte, puisque je n'ai jamais pu observer cette sporulation qu'après la destruction à peu près totale du sucre et dans un milieu très-peu alcoolique.

S'il était possible de préparer une quantité notable de levûre en train de fructifier, on pourrait espérer, en la plaçant dans un liquide fermentescible, de produire la combustion complète à laquelle la levûre ordinaire se refuse. On serait alors dans les conditions des champignons en général, chez lesquels la fonction de la combustion complète est concomitante de la fructification. On peut donc penser que le résultat négatif qu'a fourni la levûre vient de la difficulté de l'obtenir dans les conditions de la sporulation.

La levûre employée dans ces recherches ne contenait pas de spores de *Penicillium* et, après le passage, même prolongé, d'un courant d'air ou d'oxygène filtré, ce champignon n'a pas fait son apparition. Si une transformation de la levûre en *Penicillium* était possible, c'est dans les conditions de ces expériences qu'elle aurait le plus de chances de se réaliser. Ce fait vient donc à l'appui de l'opinion adoptée par M. Pasteur.

Ce travail a été fait dans le laboratoire de M. Boussingault qui a bien voulu m'aider de ses conseils dans le cours de ces recherches.

VÉGÉTATION DU MAIS,

COMMENCÉE

DANS UNE ATMOSPHÈRE EXEMPTE D'ACIDE CARBONIQUE.

Lorsqu'une graine est placée dans un sol humide, le premier symptôme de la vie végétale, la germination, ne tarde pas à se manifester. La radicule apparaît d'abord, puis la tigelle; la gemmule se tuméfie et, de ses lobes, sortent des feuilles à l'état rudimentaire. En suivant le germe pendant ces évolutions, on constate que de l'oxygène de l'air est transformé en acide carbonique. Bientôt la tige porte des feuilles colorées en vert. L'appareil aérien est constitué pour remplir une fonction opposée à celle de l'appareil souterrain, la racine. En effet, les feuilles, pendant le jour, prélèvent du carbone sur l'atmosphère; aussi l'organisme augmente-t-il de poids. En l'absence de la lumière, c'est le contraire qui a lieu; les feuilles mêmes perdent du carbone comme en perdent l'embryon et les racines. Aussi une plante, durant son existence, est-elle soumise à deux forces antagonistes, mais inégales, tendant, l'une à lui enlever, l'autre à lui fournir de la matière. Dans l'obscurité, seule, la force éliminatrice persiste. Ainsi des pois, du froment, mis à germer dans une chambre noire, ont donné, en six semaines, la température étant de 15 à 20 degrés, des plants grêles, rampants, à peine colorés, gorgés d'eau et ne renfermant pas au delà des 0,40 du carbone initial de la graine.

L'indice de l'assimilation, de l'accroissement, est donc, dans les végétaux supérieurs, la coloration des feuilles, en

un mot, l'apparition de la chlorophylle. De ces faits que j'ai dû rappeler sommairement, il résulte que, la lumière n'agissant qu'en présence de l'acide carbonique, une plante dans une atmosphère exempte de ce gaz devrait se comporter comme si elle était plongée dans l'obscurité. Cependant, dans cette situation, il est telle semence qui donne naissance à un végétal portant des feuilles colorées en vert et, dans une certaine limite, se développant comme à l'air libre, source intarissable d'acide carbonique. On doit alors se demander comment s'accomplit cette végétation, comment s'organisent les tiges, les feuilles dans un milieu privé de carbone? L'expérience que je vais décrire répondra, je crois, à cette question.

Dans un flacon plein d'air privé d'acide carbonique, d'une capacité de 10 litres, fermant à l'émeri, au fond duquel on avait déposé une couche de sable quartzeux, lavé, calciné, humecté ensuite avec de l'eau distillée et bouillie pour en expulser les gaz, on a mis deux grains de maïs pesant ensemble 0^{gr}, 846.

Deux autres graines de même origine, du poids de 0^{gr},885, ont été analysées.

I. — *Dosage de l'eau.*

	gr
Graines	0,885
Après dessiccation	0,777
Eau	0,108

On trouva, pour la composition du maïs sec :

	gr
Carbone	0,4447
Hydrogène	0,0636
Oxygène	0,4583
Azote	0,0154
Cendre	0,0180
	1,0000

Le 1er août, on avait introduit dans le flacon les deux graines pesant $0^{gr},846$; desséchées, elles eussent pesé $0^{gr},7428$ et auraient contenu :

	gr
Carbone	0,3303
Hydrogène	0,0473
Oxygène	0,3404
Azote	0,0114
Cendres	0,0134
	0,7428

Les graines commencèrent à germer deux jours après avoir été enfouies dans le sable humide. Les plants se développèrent comme ils l'eussent fait à l'air libre.

Le 15 septembre au matin, chaque plant de maïs portait trois feuilles bien constituées, d'un vert foncé, et une feuille naissante. Les tiges avaient 24 centimètres de hauteur. Ainsi qu'il arrive dans un sol pauvre, les racines prirent une extension extraordinaire; une des fibres, détachée du chevelu, mesurait 40 centimètres. On ne voyait aucune moisissure. La capacité limitée de l'appareil devint un obstacle à l'extension du végétal; les feuilles, à leur extrémité, se repliaient sur elles-mêmes, ainsi que l'indique la *fig.* 1. Les substances minérales appartenant aux semences devaient être utilisées; la végétation eût bientôt langui, et il serait arrivé ce que, maintes fois, j'ai observé, qu'un des plants, en mourant, aurait servi d'engrais au plant survivant. On mit fin à l'expérience.

Des graines il ne restait plus que les épidermes vides; l'amidon, l'huile grasse, l'albumine qui en remplissaient les cellules avaient été modifiés ou brûlés par une sorte de combustion respiratoire, et c'est sur l'un des produits de cette combustion, l'acide carbonique, que les feuilles pourvues de chlorophylle avaient agi pour en réintégrer

le carbone dans l'ensemble de l'organisme qu'elles créaient avec le concours de la lumière. C'est ce qu'établit nette-

Fig. 1.



ment la composition de la récolte mise en regard de la composition des semences.

Les plants, après dessiccation à l'étuve, ont pesé $0^{gr},6894$.

Par leur combustion, on a obtenu :

	gr		gr
Acide carbonique .	1,117 =	Carbone. . . .	0,3046
Eau.	0,3845 =	Hydrogène. . .	0,0487
Cendres			0,0138
Azote (¹)			0,0114
Oxygène (par différence).			0,3109
			0,6894

Comparant la composition des plants secs à celle des graines sèches, on a :

		Carbone.	Hydrogène.	Oxygène.	Azote.	Cendres.
	gr	gr	gr	gr	gr	gr
Grains . . .	0,7428	0,3303	0,0473	0,3404	0,0114	0,0134
Plants	0,6894	0,3046	0,0487	0,3109	0,0114	0,0138
Différence.	—0,0534	—0,0257	+0,0014	—0,0295	0,0000	+0,0004

Durant cette végétation, il n'y a pas eu acquisition, mais perte de matière. On a dosé dans les plants développés en six semaines $0^{gr},0257$ de carbone de moins que dans les graines. Il était resté, par conséquent, 4 centimètres cubes de gaz acide carbonique dans l'air ambiant ou dans l'eau imprégnant le sol et le tissu végétal. Il paraît évident que si, au lieu d'enlever les plantes de l'appareil le matin du 15 septembre, on les eût enlevées le soir, la perte en carbone aurait été moindre, parce que les feuilles en eussent assimilé pendant toute la durée du jour.

Ce que montre clairement cette expérience, c'est qu'une graine placée dans un sol stérile supportant une atmosphère stérile constitue d'abord, en germant, une atmosphère fertile, c'est-à-dire une atmosphère renfermant du carbone, au sein de laquelle, avec le concours de la lu-

(¹) Ne disposant que de peu de matière, on n'a pu doser l'azote dans les plants de maïs; on a supposé que dans la récolte il entrait la même quantité d'azote que dans les graines.

mière, les feuilles organisent de la chlorophylle et ensuite des matières amylacées et saccharines.

Dans une végétation normale, les feuilles ne se bornent pas à pourvoir la plante de carbone, centre et, en quelque sorte, pivot de tous les principes immédiats; par l'aspiration qu'occasionne leur transpiration, elles amènent dans le végétal l'eau et les substances fertilisantes disséminées dans le sol : l'azote assimilable des nitrates et de l'ammoniaque, les bases alcalines, les phosphates. Il y a plus, ainsi que j'ai pu le reconnaître, les feuilles absorbent les composés ammoniacaux concrets dissous dans la rosée déposée à leur surface, et, d'après les récents travaux de M. Schlœsing, les vapeurs ammoniacales répandues dans l'air.

Les plantes récoltées après une végétation commencée dans une condition anormale devaient renfermer du sucre interverti et de la saccharose, puisqu'on a trouvé ces sucres dans des plants de maïs venus dans les mêmes circonstances. C'est que ces végétaux, malgré la faiblesse de leur constitution, étaient verts et complétement organisés. Or on sait, par des observations dues aux physiologistes les plus éminents, et je citerai Mohl, Nägeli, Hofmeister, Sachs, que les feuilles pourvues de granules de chlorophylle, exposées à la lumière, au contact de l'acide carbonique et de l'eau, donnent naissance à de l'amidon, à des sucres et autres substances analogues, telles que la mannite, la lactine, en même temps qu'à une émission d'oxygène. La présence ou l'absence de protoplasma coloré en vert établit donc réellement deux ordres de cellules : celles qui introduisent de la matière dans l'organisme, celles qui n'en introduisent pas, mais dans lesquelles les principes formés sous la double influence de la chlorophylle et de la lumière subissent, ainsi que les albuminoïdes, de profondes modifications, soit par oxydation, soit par l'intervention de ferments diastasiques. J'irai plus loin, en ad-

mettant que les changements accomplis dans les cellules végétales dépourvues de chlorophylle ont lieu aussi dans les cellules épidermiques et dans les fluides du règne animal : c'est pourquoi le foie, les poumons, le sang, le lait contiennent de la graisse, des sucres, de l'inosite, du glycogène découvert par notre illustre confrère, M. Claude Bernard, et dont les propriétés, comme la composition, sont celles de l'amidon. Enfin, du manteau des crustacés, des arachnides, on retire de la cellulose (1).

Ces substances procèdent vraisemblablement des principes constitués dans la feuille, et dans une cellule sans chlorophylle, dans une cellule animale, la saccharose peut devenir du sucre interverti ; l'amidon, un corps gras ; le glucose, de la dextrine ; mais ces cellules ne sauraient engendrer aucune de ces substances ; entendant ici par création la faculté de faire entrer dans les êtres qui végètent ou qui respirent des éléments inertes, des éléments minéraux empruntés à l'air, à l'eau, à la terre. Cette puissance créatrice, seul, le végétal la possède. C'est ce que nous avons exprimé, M. Dumas et moi, en disant : « Les animaux ne créent pas, ils transforment uniquement les principes élaborés par les plantes.

Sans doute, il est des plantes d'un ordre inférieur qui n'ont nul besoin de chlorophylle, ni de la radiation solaire, pour édifier les matériaux que l'on trouve dans les êtres supérieurs du règne végétal ; mais il n'est aucune cellule vivante, si elle ne possède la faculté de dissocier le gaz acide carbonique, qui puisse constituer de toutes pièces un principe immédiat carboné. Il est d'ailleurs facile de prouver que le rôle du protoplasma coloré en vert, que

---

(1) Dans le sang d'oiseaux, la moyenne de 12 dosages a été de 0,005 de graisse. La nature de l'alimentation n'a pas eu d'influence sur les proportions des matières grasses. Le maximum 0,007 a été fourni par le sang d'un pigeon privé de nourriture depuis plusieurs jours.

l'on considère comme l'organe de l'assimilation dans les feuilles fonctionnant à la lumière, s'étend indirectement, mais s'étend certainement aux organes des plantes dépourvues de chlorophylle et vivant dans l'obscurité.

Afin d'être compris, je dois prendre la question d'un peu haut et, pour point de départ, le résultat d'une expérience heureuse, exécutée en 1856, il y a vingt ans.

Deux graines d'*Helianthus argophyllus* avaient été déposées dans du sable quartzeux préalablement calciné, humecté ensuite avec de l'eau distillée. On incorpora au sol du nitrate de potasse, du phosphate de chaux basique, des cendres blanches siliceuses obtenues de la combustion du foin de prairie. En quatre-vingt-douze jours, les tiges, les feuilles, les fleurs des deux plants acquirent les mêmes dimensions, la même vigueur que celles d'un *Helianthus* cultivé sur la plate-bande d'un jardin pour avoir un terme de comparaison.

En terminant le récit de cette observation, je faisais remarquer combien il était curieux de voir une plante germer, mûrir, en un mot parvenir à un développement normal, quand ses racines fonctionnaient dans du sable, contenant à la place des débris organiques en voie de décomposition, de putréfaction, qu'on rencontre dans une terre végétale fertile, des sels d'une grande pureté tirés du règne minéral, et, sans autres auxiliaires, croître progressivement, en assimilant le carbone de l'atmosphère, en organisant, avec le radical de l'acide nitrique, de l'albumine, de la caséine, c'est-à-dire les principes azotés du lait, du sang, de la chair musculaire.

A la vérité, des plantes pouvant vivre à l'obscurité sont aptes à produire les mêmes matières carbonées (à l'amidon près) que celles qui ont besoin du concours de la lumière, mais cette production se réalise dans des conditions bien différentes. Dans un cas, le carbone a pour origine l'acide carbonique de l'air; dans l'autre, un être organisé vivant

ou mort. En d'autres termes, les plantes sans chlorophylle, telles que les champignons, les cellules de levûre, les mucédinées, sont des parasites dont l'existence dépend d'un organisme qui leur est étranger. Lorsque le parasite envahit un végétal vivant, on conçoit qu'il y prélève tout ce dont il a besoin; mais, s'il est établi sur un végétal mort, on serait embarrassé pour expliquer comment il trouve les substances azotées nécessaires à sa croissance, si les recherches classiques de M. Pasteur n'avaient appris que la formation, l'accroissement de la cellule des ferments ne dépendent pas nécessairement des matières albumineuses et qu'il suffit qu'un composé carboné, le sucre par exemple, soit en relation avec un sel à base d'ammoniaque pour qu'il y ait dans la cellule apparition de protoplasma : ainsi un champignon puiserait, par son mycélium pénétrant dans des détritus de végétaux ou d'animaux, des sels ammoniacaux et d'autres principes formés par des organismes antérieurs.

Dans la végétation accomplie en dehors de la lumière, les cellules de la levûre de bière transforment le sucre en alcool, en acide carbonique, en acide succinique, en glycérine, en même temps que, par l'albumine que contient le liquide en fermentation, par les substances minérales introduites avec le ferment, de nouvelles cellules prennent naissance. C'est dans le cours de ces recherches que M. Pasteur a fait voir, par une expérience des plus ingénieuses, que la matière albumineuse du milieu pouvait être remplacée par un autre corps azoté, par de l'ammoniaque.

C'est ainsi que les globules de levûre se multiplient dans de l'eau tenant en dissolution du sucre, des cendres de levûre apportant des phosphates et d'autres sels alcalins, du tartrate d'ammoniaque. C'est encore ainsi que M. Raulin a obtenu en quelques jours une abondante récolte d'*Aspergillus*, en projetant quelques spores de cette mucédinée dans de l'eau tenant en solution du sucre

candi, du tartrate d'ammoniaque et en outre des phosphates alcalins et terreux, de la silice, de très-faibles doses d'oxyde de fer et de zinc.

De ces observations on a tiré naturellement cette conséquence que les globules de levûre, les mucédinées, en un mot, les parasites atteignent un complet développement dans un milieu artificiel ne renfermant autre chose que des composés chimiques définis et cristallisés.

A la première vue, on pourrait croire qu'il y a identité dans ces résultats et celui fourni par la culture de l'*Helianthus argophyllus*. La différence est grande cependant. L'*Helianthus* a pris tous ses éléments carbonés constitutifs dans ce qu'on peut appeler le *monde extérieur :* le carbone, dans l'atmosphère ; l'hydrogène, l'oxygène dans l'eau. Les parasites, au contraire, ont pris le carbone dans des substances qui, tout en ayant une composition chimique définie, tout en étant cristallisées, proviennent néanmoins d'un organisme végétal ; car, en définitive, le sucre, l'acide tartrique, intervenus dans les expériences de MM. Pasteur et Raulin, ont été indubitablement formés dans une plante à chlorophylle, sous l'influence de la radiation solaire ; leur carbone, et l'on peut en dire autant du carbone appartenant aux débris, aux détritus des végétaux ou des animaux sur lesquels vivent les champignons, les moisissures, dérive, par conséquent, de l'acide carbonique de l'atmosphère. L'existence de ces parasites dans un lieu obscur où leurs cellules forment des principes immédiats semblables à ceux produits à la clarté du jour par les plantes à protoplasma vert, loin d'être une exception, est, comme on l'a dit, une confirmation des rapports nécessaires de la lumière avec la végétation. Je termine par cette réflexion : Si la radiation solaire cessait, non-seulement les plantes à chlorophylle, mais encore les plantes qui en sont dépourvues, disparaîtraient de la surface du globe.

Tout en reconnaissant que la décomposition du gaz acide carbonique par la chlorophylle est le fait capital de la vie végétale, M. Pasteur n'admet pas que la formation de tous les organismes soit nécessairement subordonnée à l'action de la lumière. Sans la radiation l'existence des grands végétaux deviendrait impossible, mais celle de certains êtres pourrait encore se manifester; M. Pasteur donne, comme exemple, des cellules se développant aux dépens de produits qu'on obtient de simples réactions chimiques. Je citerai textuellement les paroles que cet éminent observateur prononça après avoir entendu la lecture de mon Mémoire :

« Une graine impondérable de *mycoderma aceti*, déposée dans un milieu minéral où l'aliment carboné unique est une substance organique très-éloignée de l'organisme, puisque cette substance est de l'alcool, fournit un poids de matière organique quelconque, formée des principes immédiats les plus variés et, qu'on le remarque bien, infiniment plus complexes que l'aliment carboné, l'alcool, dont tout le carbone de ces principes est sorti sous l'influence de la vie de la semence ([1]). »

A cela je réponds, en restant strictement dans les limites d'une question de Physiologie, que les faits rapportés par M. Pasteur rentrent dans la règle générale; car l'acide acétique développé dans le milieu où fonctionnait le *mycoderma* venait de l'alcool; or cet alcool dérivait de sucre constitué par une plante à chlorophylle exposée au soleil; d'où il suit que le carbone de ce sucre, comme celui des autres matières carbonées apparues pendant la fermentation acétique, avait été séparé de l'acide carbonique atmosphérique par l'action de la lumière ([2]).

([1]) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, séance du 10 avril 1876.

([2]) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, séance du 24 avril 1876.

RECHERCHES SUR LA MANNITE,

AU POINT DE VUE DE SES PROPRIÉTÉS OPTIQUES ;

PAR MM. A. MÜNTZ ET E. AUBIN.

La mannite ne possède pas de pouvoir rotatoire appréciable; cependant un pouvoir rotatoire latent paraît exister en elle : en effet, ses dérivés sont généralement optiquement actifs, et elle peut le devenir elle-même sous l'influence de certains sels.

M. Loir a, le premier [1], appelé l'attention sur l'action qu'exercent sur la lumière polarisée les dérivés de la mannite; il a pensé que la mannite elle-même devait être active, quoique d'une manière tellement faible que les moyens d'observation habituels ne suffisaient pas pour le constater.

Plus tard, M. Vignon [2] a constaté que le borax, qui, suivant Biot, augmente dans une forte proportion le pouvoir rotatoire de l'acide tartrique, a une action remarquable sur la mannite en y développant, par sa présence, un pouvoir rotatoire dextrogyre assez élevé. M. Vignon conclut de ses expériences que la mannite possède un pouvoir rotatoire dextrogyre de $0°,8$. Cependant il ne vérifie pas son hypothèse par une observation directe, croyant avec raison, selon nous, qu'en augmentant la longueur de la colonne de liquide et la proportion de mannite dissoute, les erreurs attribuables à des traces d'impuretés augmenteraient dans le même rapport que la déviation mesurée et que, par suite, en opérant sur une longue colonne de

(1) *Bulletin de la Société chimique de Paris*, 1861, p. 113.
(2) *Annales de Chimie et de Physique*, 5e série, t. II, p. 433.

liquide, la sécurité n'était pas plus grande qu'en observant sous une épaisseur moindre.

M. G. Bouchardat, qui a étudié un grand nombre de dérivés de la mannite ([1]), a constamment trouvé qu'ils possédaient l'activité optique. Dans des expériences faites sur des mannites de diverses provenances, il a constaté que non-seulement le borax, mais aussi d'autres borates faisaient naître dans ce sucre une action dextrogyre, tandis que la soude lui imprimait un pouvoir rotatoire lévogyre.

M. Bouchardat s'est efforcé de déterminer directement le pouvoir rotatoire de la mannite. Ses premières expériences, faites, cependant, dans des conditions assez favorables (longueur de la colonne observée, 400 millimètres; mannite pour 100 de dissolution, 33), ne lui ont pas donné un résultat favorable à l'existence de l'activité optique. Cependant ses expériences ultérieures, faites en observant des dissolutions de mannite sous une épaisseur de 3 mètres, lui font admettre qu'elle exerce, comme M. Bichat l'avait pensé, une action réelle, quoique très-faible. M. Bouchardat conclut de ses déterminations que la mannite possède un pouvoir rotatoire lévogyre de 0°,25. Mais nous retrouvons ici l'objection qui a fait reculer M. Vignon devant l'observation directe. Il suffit, en effet, d'une trace de matière lévogyre ou même d'une trace de certaines substances minérales inactives, contenues à l'état d'impureté dans la mannite, pour produire une déviation de l'ordre de grandeur des déviations obtenues par M. Bouchardat. Nous hésitons donc à adopter sa manière de voir, et nous considérons la mannite comme un corps ne possédant pas d'action sur la lumière polarisée, mais pouvant en acquérir une sous certaines influences.

Nous nous appuyons dans cette appréciation sur les analogies qu'offre la mannite avec la dulcite et la sorbite.

([1]) *Annales de Chimie et de Physique*, 5e série, t. VI, p. 100.

Les borates ne sont pas les seuls sels qui développent dans la mannite l'activité optique : le carbonate et le sulfate de soude, le chlorure de sodium, etc., jouissent de la même propriété.

Exemples. — La dissolution contient pour 100 :

	Déviation.
1. Mannite, 10	—0,1
2. Mannite, 10; carbonate de soude supposé anhydre, 15	+4,5
3. Mannite, 10; chlorure de sodium sec, 25	+1,8
4. Mannite, 10; sulfate de soude supposé anhydre, 12	+0,7

M. Bouchardat a trouvé que le borate de soude forme avec la mannite une véritable combinaison. Nous ne pensons pas que tel soit le cas avec tous les sels qui rendent la mannite active. Il suffit, en effet, d'évaporer à sec le mélange des deux substances et de traiter par l'alcool bouillant le résidu pulvérisé pour en éliminer la mannite.

Les alcalis, potasse, soude, chaux, magnésie, baryte, etc., développent un pouvoir rotatoire lévogyre. Mais là encore ce n'est que par leur présence qu'agissent les alcalis, sans imprimer une modification permanente à la mannite. En effet, il suffit de saturer l'alcali pour que le pouvoir rotatoire lévogyre disparaisse et que l'on voie apparaître à la place une légère déviation s'exerçant à droite et due à l'action sur la mannite du sel qui prend naissance par la saturation.

L'ammoniaque, contrairement aux autres alcalis, fait dévier à droite.

Exemples. — La dissolution contient pour 100 :

	Déviation.
1. Mannite, 10	—0,1
2. Mannite, 10; potasse caustique hydratée, 10	—4,0
Après saturation par l'acide acétique	+1,0

	Déviation.
3. Mannite, 10; soude caustique hydratée......	—4,5
Après saturation par l'acide acétique.........	+1,2
4. Mannite, 10; chaux supposée anhydre, 1,995 [1].	—1,2
Après saturation par l'acide acétique.......	+0,1
5. Mannite, 10; magnésie, 0,05 [2]..........	—0,4
Après saturation par l'acide acétique........	—0,1
6. Mannite, 10; baryte jusqu'à saturation.......	—0,8
7. Mannite, 10; ammoniaque à 95 degrés de densité, 60..............................	+1,0

Les acides, même existant en forte proportion dans la dissolution de mannite, ne paraissent pas produire une action du même genre sur ce sucre.

Exemples. — La dissolution contient pour 100 :

	Déviation.
1. Mannite, 10..........................	0,0
2. Mannite, 10; acide sulfurique SO^3,HO, 25....	—0,1
3. Mannite, 10; acide acétique cristallisable, 20..	0,0

La mannite sur laquelle ont porté ces essais était obtenue par la fermentation ; celle extraite des champignons donne le même résultat. On doit, pensons-nous, considérer ce corps comme doué d'un pouvoir rotatoire dissimulé, et lui appliquer les mêmes idées qu'aux autres corps, présentant les phénomènes de dyssimétrie moléculaire.

La mannite, qui paraît sans action par elle-même sur la lumière polarisée, a donc la propriété d'acquérir, sous l'influence de certains corps et sans subir de modification moléculaire durable, un pouvoir rotatoire qui, tantôt

---

[1] La dissolution de mannite avait été agitée avec un excès de chaux éteinte. M. Berthelot a montré (*Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. XLVI, p. 173) qu'une dissolution de mannite dissout la chaux.

[2] La dissolution de mannite a été agitée avec un excès de magnésie calcinée.

s'exerce à droite, tantôt à gauche. Cette propriété peut être caractérisée par la dénomination de *pouvoir rotatoire indifférent* et s'appliquer aux corps qui, selon les influences, ou bien n'ont aucune action sur la lumière polarisée, ou bien peuvent en acquérir une, tantôt lévoygre, tantôt dextrogyre, et cessant dès que la cause agissante disparaît, ce corps se retrouvant, après l'élimination de la substance qui provoque l'action, absolument identique à ce qu'il était à l'origine. Il est utile de rappeler ici, comme offrant de l'analogie avec les faits que nous décrivons, que déjà Biot [1] avait observé qu'un même corps (l'acide tartrique droit) pouvait avoir, d'une manière passagère, son pouvoir rotatoire considérablement augmenté ou diminué jusqu'à changer de sens, et que M. Pasteur [2] a vu l'asparagine, l'acide aspartique, l'acide malique présenter, suivant les corps en présence, une action dextrogyre ou lévogyre.

M. Pasteur, dans une série de Mémoires qui font époque dans la Science [3], a montré qu'un certain nombre de corps actifs ont deux homologues de propriétés à peu près identiques, l'un d'une action inverse sur la lumière polarisée, l'autre sans action. Dans la série des alcools supérieurs formant les matières sucrées, le glucose est l'exemple le plus frappant de ce fait : il existe à l'état dextrogyre, à l'état lévogyre et à l'état inactif. D'un autre côté, on sait qu'un corps actif qui a pour origine un autre corps actif dévie dans le même sens que le corps qui lui a donné naissance le rayon de la lumière polarisée ; à moins toutefois que la constitution moléculaire n'ait été modifiée par une réaction trop énergique.

En appliquant ces deux ordres d'idées à la mannite qu'on peut obtenir en traitant certains sucres du genre des hy-

---

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. XXVIII, p. 374.
(2) *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. XXXI, p. 67.
(3) *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série.

drates de carbone par l'hydrogène naissant [1], nous nous sommes posé le problème suivant :

Étant donnée de la mannite obtenue par l'hydrogénation d'un sucre dextrogyre, d'un sucre lévogyre et d'un sucre neutre, rechercher si les propriétés optiques de chacune des mannites ainsi produites sont en rapport avec les propriétés optiques du sucre générateur.

Voici les expériences faites pour résoudre cette question :

On a opéré sur le sucre interverti, sur le glucose et la lévulose préparés au moyen du sucre interverti, sur la lévulose obtenue de l'inuline du dahlia, et sur le glucose inactif de Mitscherlich.

L'hydrogénation était produite par de l'amalgame de sodium contenant de 1 à 1,5 de sodium pour 100. Pour avoir une grande surface de l'amalgame en contact avec le liquide sucré, on s'est servi de très-larges cuvettes de photographie; on saturait plusieurs fois par jour la soude formée au moyen de l'acide sulfurique dilué. Le liquide était examiné de jour en jour au point de vue de ses propriétés optiques; la liqueur de Fehling montrait quelle quantité de sucre réducteur restait dans la liqueur.

Les pouvoirs rotatoires obtenus de cette manière ne peuvent pas être considérés comme très-exacts. En effet, le dosage par la liqueur cuivrique, tel qu'il a été pratiqué, ne permet pas une évaluation très-rigoureuse de la quantité de sucre réducteur; d'un autre côté, les sels existant dans la dissolution, augmentant en proportion à mesure que l'hydrogénation avançait, influaient diversement sur les matières en présence, sucre réducteur et mannite, abaissant généralement le pouvoir rotatoire du premier, développant chez le second un pouvoir rotatoire dextrogyre.

---

(1) LINNEMANN, *Annalen der Chemie und Pharmacie*, juillet 1862.

Il pouvait en outre se produire des corps intermédiaires, possédant une action sur la lumière polarisée. Ces diverses influences cependant ne sauraient être très-considérables et les nombres que nous donnons n'en représentent pas moins la marche de l'ensemble du phénomène. Quand la déviation était assez considérable, on calculait le pouvoir rotatoire; lorsqu'elle était devenue très-faible, on se bornait à l'enregistrer, le calcul du pouvoir rotatoire ne pouvant plus se faire exactement dans ces conditions. La quantité de sucre réducteur étant devenue très-faible, on saturait exactement par l'acide sulfurique, on évaporait à consistance de sirop et l'on reprenait par l'alcool à 90 degrés bouillant qui, par refroidissement, déposait une belle et abondante cristallisation de mannite. Ces cristaux fortement exprimés et recristallisés plusieurs fois dans l'alcool donnaient de la mannite parfaitement pure.

1° *Hydrogénation du saccharose.* — On a dissous près de 300 grammes de saccharose dans 3 litres d'eau. Cette solution marquait 57 degrés saccharimétriques; sa réduction sur la liqueur de Fehling était nulle; placée dans une grande cuvette, elle a été additionnée d'amalgame à 1 pour 100; après vingt-quatre heures d'action, la déviation a été de 54 degrés saccharimétriques; il y avait une légère réduction de la liqueur cuivrique.

Après quarante-huit heures, la déviation était de 53 degrés, la réduction très-faible. On a continué pendant plusieurs jours à ajouter de l'amalgame, en saturant fréquemment l'alcali formé. L'action a paru rester à peu près stationnaire. Le saccharose subit donc très-difficilement l'action de l'hydrogène naissant.

2° *Hydrogénation du sucre interverti.* — Le sucre interverti a été préparé en maintenant à une température inférieure à celle de l'ébullition du sucre de canne dissous dans l'eau acidulée par 1 $\frac{1}{2}$ pour 100 d'acide sulfurique; on a saturé l'acide par du carbonate de soude et étendu la

liqueur de manière à avoir 100 grammes de sucre réducteur par litre de liqueur. On a fait agir l'amalgame de sodium. Au début, le pouvoir rotatoire ([1]) à la température de 16 degrés a été trouvé égal à — 23,5.

	Sucre réducteur p. 100.	Pouvoir rotatoire.
14 octobre, après 24 heures il y avait. . .	9,12	— 8,8
15 » »	5,98	+ 13,6
16 » »	2,74	+ 23,8
17 » »	2,17	»
19 » »	1,24	»
20 » »	0,89	»

A partir du 17, la déviation de la liqueur s'est maintenue entre zéro et + 1° saccharimétrique.

Cette expérience fait croire au premier abord que la lévulose s'hydrogène plus facilement que le glucose ; il n'en est rien cependant, comme le montre une des expériences décrites plus loin. Si, de gauche qu'il était, le pouvoir rotatoire devient droit, ce n'est pas parce que la lévulose disparaît plus vite, mais parce que, sous l'influence de l'alcalinité, elle se transforme en un glucose inactif; le glucose droit exerce donc à un moment donné une action prépondérante sur la déviation.

La liqueur ne contenant plus que $\frac{1}{12}$ du sucre réducteur primitif a été saturée exactement par l'acide sulfurique et évaporée ; on a séparé par cristallisation une grande partie du sulfate de soude, concentré les eaux mères à une douce chaleur jusqu'à siccité et traité le magma obtenu par l'alcool à 90 degrés bouillant, filtré la solution alcoolique qui a

---

([1]) Tous les pouvoirs rotatoires ont été calculés par la formule de M. Berthelot

$$(a_j) = \alpha_j \frac{V}{lp}.$$

déposé par refroidissement une abondante cristallisation de mannite parfaitement incolore, qu'on a exprimée et purifiée par de nouvelles cristallisations dans l'alcool.

3° *Hydrogénation du glucose.* — Le glucose a été préparé au moyen du sucre interverti. Le sucre de canne a été interverti à une température inférieure à 100 degrés par l'acide sulfurique à 1 $\frac{1}{2}$ pour 100. L'acide a été éliminé par le carbonate de baryte, et la dissolution évaporée à basse température à consistance de sirop. Au bout de quelques semaines, le sirop était pris en une masse cristalline presque incolore, qui a été alternativement exprimée et terrée à l'alcool à plusieurs reprises, et la purification a été achevée par plusieurs cristallisations dans l'alcool.

		Sucre réducteur p. 100.	Pouvoir rotatoire.
15	octobre, à l'origine, la liqueur mise en contact avec l'amalgame contenait p. 100 de glucose	9,27	+ 44,4
16	» »	7,87	+ 32,42
17	» »	5,86	+ 30,5
19	» »	4,05	+ 34,8
20	» »	3,07	+ 35,3
22	» »	1,27	»
22	» »	0,92	»

A partir du 22 octobre, la déviation de la liqueur était comprise entre zéro et + 1, ce qui indiquerait une diminution considérable du pouvoir rotatoire. Le liquide, traité comme le précédent, a également donné une abondante cristallisation de mannite.

4° *Hydrogénation de la lévulose du sucre interverti.* — Pour préparer cette lévulose, on s'est servi du sirop de sucre interverti, d'où l'on avait séparé par expression le glucose cristallisé. On a précipité par un lait de chaux, en présence d'eau glacée ; on a lavé et exprimé le lévulate de chaux, on l'a décomposé par l'acide sulfurique très-

étendu, précipité de nouveau par la chaux et régénéré la lévulose après des lavages et des expressions rapides à basse température. Dans cette opération, on perd une quantité notable de lévulose qui, en présence de la chaux, passe partiellement à l'état de glucose inactif dont la combinaison calcaire, très-soluble, est enlevée par des lavages.

	Sucre réducteur p. 100.	Pouvoir rotatoire.
24 octobre, à l'origine la dissolution contient.	9,87	— 104,4
25 » »	8,76	— 100,0
26 » »	7,50	— 61,4
28 » »	7,28	— 48,4
25 » »	5,73	— 35,9
5 novembre »	5,34	— 15,2
9 » »	4,81	— 16,5
10 » »	4,63	— 17,1

Cette expérience montre que la lévulose s'hydrogène beaucoup moins facilement que le glucose et qu'à mesure que l'action de l'amalgame se prolonge, le sucre non détruit perd une grande partie de son pouvoir rotatoire, ce qu'il faut probablement attribuer à l'action de l'alcali formé dont la saturation n'est pas immédiate. Dans cette expérience on a encore obtenu une belle cristallisation de mannite ; moins abondante toutefois que dans les précédentes.

5° *Hydrogénation de la lévulose préparée au moyen de l'inuline.* — L'inuline a été préparée en suivant le procédé indiqué par M. Schützenberger. Les tubercules de dahlia râpés ont été additionnés de 3 à 4 fois leur volume d'eau ; on a porté à l'ébullition pendant un quart d'heure, filtré sur un linge et exprimé. Le liquide refroidi a été additionné de sous-acétate de plomb, filtré, soumis à un courant d'hydrogène sulfuré pour enlever le plomb en excès et évaporé à une température inférieure à 70 degrés. On

a arrêté l'évaporation quand on a vu une pellicule se former à la surface du liquide ; on a laissé l'inuline se déposer pendant plusieurs jours, on l'a lavée à l'eau froide, redissoute dans l'eau chaude, précipitée par l'alcool, lavée à l'eau alcoolisée et enfin séchée à une douce température. 100 de tubercules ont donné 7,5 d'inuline pure. Pour préparer la lévulose, on a dissous l'inuline dans 10 fois son poids d'eau bouillante qu'on a acidulée par $\frac{1}{2}$ pour 100 d'acide sulfurique ; on a chauffé jusqu'à transformation complète. L'acide sulfurique a été enlevé par le carbonate de baryte.

On peut préparer la lévulose inulique à un plus grand état de pureté en chauffant à 60 degrés l'inuline dissoute dans l'eau acidulée par 5 pour 100 d'acide acétique. On reprend par l'alcool et l'on évapore la solution alcoolique dans le vide sur la chaux vive.

	Sucre réducteur p. 100.	Pouvoir rotatoire.
3 février 1876, à l'origine, la dissolution contient.	7,50	— 90,15
4 » »	3,40	— 32, 5
5 » »	1,50	+ 12, 2
7 » »	1,00	0, 0
8 » »	0,00	0, 0

On a encore obtenu une belle cristallisation de mannite. La quantité de mannite purifiée s'est élevée à plus de 20 pour 100 de la lévulose employée.

On remarque qu'à un moment donné de l'hydrogénation la déviation s'est exercée d'abord. Cela tient probablement à ce que l'une des observations a été faite en présence d'alcali non saturé, tandis que, dans tous les autres essais, elles se faisaient après la saturation de la liqueur.

La lévulose de l'inuline s'hydrogène donc facilement. Elle perd rapidement son pouvoir rotatoire.

Un exemple frappant de la rapidité avec laquelle le glucose inulique, qu'il serait peut-être rationnel d'appeler *inulose,* se transforme sous l'influence de l'hydrogène nais-

sant, nous est fourni par l'expérience suivante : une dissolution contenant 8,40 pour 100 d'inulose a donné à la température de 15 degrés une déviation à gauche de 74°,0 saccharimétriques, ce qui conduit à un pouvoir rotatoire de — 89,6. Dans l'expérience précédente, la détermination du pouvoir rotatoire sur l'inulose d'une préparation différente avait donné — 90,1.

Cette dissolution a été mise en contact avee l'amalgame de sodium à 1 $\frac{1}{2}$ pour 100. Au bout de douze heures la déviation était égale à + 0,5. La proportion de glucose restant n'était plus que 0,2 pour 100.

6° *Hydrogénation du glucose inactif.* — Pour préparer le glucose inactif, dit *glucose de Mitscherlich,* on a suivi à peu près le procédé indiqué dans le *Traité de Chimie organique* de Gerhardt ([1]). Du sucre de canne pulvérisé a été mélangé intimement avec 5 pour 100 d'eau. Ce mélange, introduit dans des tubes de verre qu'on a scellés à la lampe, a été chauffé lentement au bain d'huile jusqu'à ce que la température eût atteint 160 degrés.

On maintient deux ou trois minutes à cette température et l'on dissout ensuite, après refroidissement, dans l'eau. On obtient une solution colorée qui contient de petites quantités d'acides bruns; une digestion sur le noir animal les élimine et l'on a ainsi une solution presque incolore, presque entièrement composée de glucose inactif réduisant la liqueur de Fehling, mais souillée d'une très-petite quantité de sucre de canne inaltéré qui lui communiquait une légère déviation à droite.

On a cependant cru pouvoir négliger cette légère impureté du produit et l'on a procédé à son hydrogénation dans la conviction que les résultats obtenus n'en seraient pas moins concluants.

([1]) T. II, p. 517.

On a fait des essais infructueux pour obtenir, à l'état de pureté, ce glucose inactif; on a fait varier le temps de la chauffe et les proportions d'eau. En général, quand la quantité d'eau était assez forte et atteignait 10 pour 100 de sucre, la matière était altérée fortement, présentant une coloration brune très-intense, une réaction et une saveur très-acides et laissant déposer d'abondants flocons bruns.

On a constaté que le glucose inactif devient dextrogyre sous l'influence du borax. Le sulfate de soude exerce une action analogue, mais moins intense. Le carbonate de soude fait, au contraire, dévier à gauche.

Exemples. — La dissolution contient : pour 100, sucre réducteur 6,41, sucre de canne, des traces.

	Déviation.
Cette liqueur donne..........................	+0,5
Même liqueur saturée de borax...........	+6,3
» de sulfate de soude...	+1,2
» de carbonate de soude.	—2,9

Ici encore nous avons donc un exemple du pouvoir rotatoire indifférent.

	Sucre réducteur p. 100.	Déviation.
La liqueur soumise à l'action de l'amalgame contient............	6,41	+ 0,5
1er novembre, après 24 heures....	4,90	+ 3,7
2 » »	3,88	+ 8,2
3 » »	2,82	+ 9,3
4 » »	2,36	+10,5
7 » »	1,93	+ 5,0

Les déviations observées sont, en partie au moins, dues à l'action, sur le glucose inactif et sur la mannite formée, du sulfate de soude, dont la proportion va en augmentant.

Dans cette opération encore on a obtenu de la mannite

dont la proportion s'est élevée, après purification, à environ 25 pour 100 du glucose employé.

Passons maintenant à l'examen comparatif des mannites obtenues.

Pour étudier leur action sur la lumière polarisée, on a mis à profit l'influence qu'exercent sur elle le borate de soude et la soude caustique. On a, en outre, préparé les dérivés nitrés dont l'action sur la lumière polarisée est connue depuis les recherches de M. Loir [1].

Les résultats trouvés sont exprimés en divisions saccharimétriques; l'appareil employé était le polarimètre de Laurent à lumière monochromatique.

1° On a d'abord cherché la déviation que pourrait donner la mannite seule; la dissolution en contenait 10 pour 100.

		Déviation.
Mannite obtenue	du glucose inactif	—0,2
»	du sucre interverti	—0,2
»	du glucose du sucre interverti	—0,1
»	de la lévulose du sucre interverti	—0,1
»	du glucose d'inuline	—0,0

On peut donc admettre que ces différentes mannites n'avaient pas d'action sur la lumière polarisée, les nombres observés étant de l'ordre de grandeur des erreurs inévitables.

2° La dissolution contient, pour 100, 10 de mannite et 12,8 de borax supposé anhydre.

		Déviation.
Mannite obtenue	du glucose inactif	+23,1
»	du sucre interverti	+22,0
»	du glucose du sucre interverti	+23,0
»	de la lévulose du sucre interverti	+21,6
»	du glucose d'inuline	+22,0

[1] Mémoire cité.

Ces chiffres sont assez rapprochés pour qu'on puisse admettre que le borax exerce sur ces différentes mannites une action identique en y développant un pouvoir rotatoire de même sens et de même grandeur.

3° La dissolution contient pour 100, 8 de mannite et 8 de soude caustique hydratée.

	Déviation.
Mannite obtenue du glucose inactif.............	—3,7
» du sucre interverti.............	—3,5
» du glucose du sucre interverti....	—3,4
» de la lévulose du sucre interverti..	—3,2
» du glucose d'inuline............	—3,2

Ici encore l'action de la soude a été la même sur ces mannites d'origines diverses.

4° Les nitromannites ont été préparées d'après le procédé décrit par Gerhardt (1). 1 partie de mannite a été broyée avec de l'acide azotique fumant jusqu'à dissolution; on a ensuite ajouté alternativement de l'acide sulfurique et de l'acide azotique fumant jusqu'à ce qu'on eût mis $10\frac{1}{2}$ parties du premier et $4\frac{1}{2}$ parties du second. La masse pâteuse obtenue a été jetée dans l'eau. On a lavé le composé nitré qui s'est déposé, on l'a purifié par cristallisation dans l'alcool. Pour observer l'action sur la lumière polarisée, on a dissous 3 parties de nitromannite sèche dans 100 parties d'alcool absolu.

Voici les résultats des observations exprimés en degrés saccharimétriques :

	Déviation.
Mannite obtenue du glucose inactif.............	+12,7
» du sucre interverti.............	+12,3
» du glucose du sucre interverti....	+12,3
» de la lévulose du sucre interverti...	+12,5
» du glucose d'inuline............	+12,3

(1) *Chimie organique*, t. II, p. 577.

Les composés nitrés de ces différentes mannites ont donc la même action sur la lumière polarisée.

Il résulte des observations contenues dans ce travail que la mannite, quel que soit le sucre dont elle tire son origine, présente des propriétés optiques absolument identiques. Il n'y a donc pas lieu de penser que ce corps puisse affecter, comme on eût pu s'y attendre, des états moléculaires différents caractérisés par une action sur la lumière polarisée, en rapport avec l'action du sucre générateur.

Ce travail a été fait dans les laboratoires de M. Boussingault et de l'Institut agronomique.

SUR LA MATIÈRE SUCRÉE

CONTENUE DANS LES PÉTALES DES FLEURS ;

Par M. Joseph BOUSSINGAULT.

Les fleurs sécrètent des matières sucrées par des glandes réparties sur leurs diverses parties ; les pétales présentent quelquefois un appareil excréteur ; cependant il arrive aussi que de leur surface dépourvue des glandes apparentes il suinte un liquide sucré, une sorte de miellée. C'est principalement autour des organes essentiels de la reproduction que sont les nectaires où les abeilles viennent butiner les matériaux du miel.

Si, comme il y a tout lieu de le croire, les matières sucrées des fleurs sont élaborées par les feuilles, leur constitution doit être la même que celles dont on a constaté la présence dans les autres organes du végétal ; c'est, en effet, ce que paraissent établir les recherches auxquelles je me suis livré dans ces dernières années, en portant particulièrement mon attention sur les pétales, que les physiologistes considèrent comme des feuilles plus ou moins modifiées.

Les pétales étaient isolés avec soin ; on faisait passer dans un volume d'eau déterminé les substances solubles ; on traitait ensuite la solution par le sous-acétate de plomb, afin d'éliminer les principes non sucrés qui auraient pu réagir sur la liqueur cuivrique ou être transformés en sucre réducteur par l'acide que l'on faisait intervenir pour opérer l'interversion des sucres analogues au saccharose.

Généralement on s'est borné à reconnaître la présence d'un sucre réducteur ; néanmoins on a aussi dosé simultanément les matières sucrées dans les pétales et dans les feuilles de la plante sur laquelle la fleur avait été prélevée. Dans quelques cas, les analyses ont porté sur les fleurs ayant conservé leurs organes de reproduction.

Voici les fleurs dans les pétales desquelles on a trouvé du sucre réducteur :

Rose, Lys, Souci, Bluet, Pavot, Cactus, Hortensia, Bourrache, Rhododendron, Yucca, Campanule, Liseron, Géranium, Fuchsia, Giroflée, Glycine, Couronne impériale, Pomme de terre, Dahlia, Ellébore, Phlox, Pétunia, Digitale, Iris, Colchique, Muflier, Renoncule, Camomille, Capucine, *Portulacca* (Pourpier), Genêts d'Espagne, Magnolia, Glaïeul, Asclépiade, Acacia, Châtaignier, Prunier, Mirabellier, Perce-neige, Abricotier, Mahonia, Poirier, Reine-Claude, Cassis, Pommier, Pivoine, Bouton d'or, Pervenche, Hyacinthe bleue, Pâquerette.

On a réuni dans un tableau les résultats de quelques dosages : les matières sucrées ont été désignées sous le nom de *sucre réducteur*, quand elles réduisaient la liqueur cuivrique, et sous celui de *sucre interversible* lorsque la réduction n'avait lieu qu'après l'intervention d'un acide; dans ce cas, c'était vraisemblablement du saccharose. Le sucre réducteur pouvait être du sucre interverti, du glucose, de la lévulose ou même du sucre inactif, et, ce qui est le plus probable, un mélange de ces divers sucres, ainsi qu'il arrive dans la plupart des fruits sucrés, et comme on l'a reconnu dans le sucre réducteur extrait des pétales de la rose.

		Dans 100 : Matière sèche.	Sucre réducteur.	Sucre interversible.
Lis, pétales	Juillet	12,0	2,60	indices
Lis, feuilles	»	16,0	2,75	id.
Laurier-rose, pétales	Juillet	16,0	7,22	id.

		Dans 100 : Matière sèche.	Sucre réducteur.	Sucre interversible.
Laurier-rose, feuilles....	Juillet.....	26,5	2,46	»
Portulacca, fleurs entières.	Août......	10,0	4,42	0,65
Portulacca, feuilles......	»	5,6	1,27	0,20
Acacia, pétales.........	Juillet.....	13,0	3,80	0,00
Acacia visqueux, pétales.	Août.....	17,0	1,46	1,13
Rhododendron, pétales..	»	8,0	2,20	0,50
Magnolia, pétales.......	»	11,5	1,44	0,55
Magnolia, feuilles.......	»	24,0	1,34	0,76
Oranger, pétales........	Juillet	21,0	5,00	0,60
Oranger, fleurs entières..	»	22,0	4,11	0,94
Oranger, feuilles........	»	28,0	traces	1,30
Gueules-de-loup, pétales.	»	14,0	4,83	2,12
Tilleul, fleurs entières....	Juin.......	25,0	0,54	0,27
Tilleul, feuilles.........	»	33,0	1,08	1,91
Rose, pétales..........	»	13,0	3,40	indices

Les pétales, on le voit, renferment de notables proportions de sucre, atteignant, d'après les dosages précédents rapportés à la substance normale, c'est-à-dire à la fleur non desséchée, en moyenne 4 pour 100. La cellulose, les principes immédiats non sucrés y entrent pour de faibles quantités. Par exemple, dans les pétales de la rose, on a dosé :

Cellulose et matières insolubles...........	7,60
Sucre réducteur.......................	3,40
Substances solubles autres que le sucre.....	2,00
Eau et matières volatiles................	87,00
	100,00

Les feuilles cueillies en même temps que les fleurs ont fourni moins de sucre, en moyenne 2,2 pour 100. On a recherché si, pendant leur exposition à l'air, alors qu'elles sont détachés de la plante, les fleurs perdent du sucre.

I. En 1869, au mois d'octobre, dans 100 grammes de fleurs entières de muflier, on a trouvé : sucre exprimé en sucre réducteur.................... $\overset{gr}{6,82}$

100 grammes des mêmes fleurs restèrent exposés à l'air pendant trente-six heures. On dosa, après l'exposition : sucre.......................... 5,77

Sucre disparu..... 1,05

II. En juillet 1876, dans le laboratoire d'Unieux, on répéta cette expérience sur des pétales de rose. 100 grammes de pétales contenaient : sucre réducteur.................................... 3,40

100 grammes des mêmes pétales, après être restés à l'air pendant cinq jours, renfermaient : sucre réducteur.............................. 2,40

Sucre disparu..... 1,00

Cette perte tient à ce que les pétales se comportent dans l'atmosphère comme les parties du végétal non colorées en vert ; elles absorbent de l'oxygène en exhalant de l'acide carbonique ; et les faits que j'ai rapportés mettent hors de doute que du sucre est brûlé ou modifié pendant l'exposition de la fleur à l'air.

L'action comburante ne s'exerce d'ailleurs que sous l'influence de l'eau de constitution, elle est ralentie pendant la dessiccation, nulle sur un organe sec. C'est pourquoi les feuilles et les fleurs, après avoir été séchées rapidement, conservent une partie du sucre qu'elles renfermaient au moment où on les a cueillies.

SUR LA SÉPARATION

DE LA POTASSE ET DE LA SOUDE

Par M. Th. SCHLOESING.

On sait que l'étude des perchlorates conduisit Serullas à un procédé fort simple pour doser la potasse ; ayant constaté que cette base est la seule, parmi celles que l'on trouve le plus souvent dans les analyses, qui forme avec l'acide perchlorique un sel insoluble dans l'alcool, il conseilla de faire passer les bases à l'état de perchlorates, en employant au besoin les perchlorates d'argent et de baryte pour éliminer et doser le chlore et l'acide sulfurique, et d'achever par l'alcool à 40 degrés la précipitation du perchlorate de potasse. Adopté à l'époque de sa publication, ce mode de dosage semble délaissé aujourd'hui. Peut-être Serullas a-t-il eu le tort de ne pas citer dans son Mémoire des résultats d'analyse en chiffres, manière la plus efficace de fixer le mérite d'une méthode ; mais ce qui a manqué surtout à son procédé, c'est, je crois, le réactif sur l'emploi duquel il est fondé. L'acide perchlorique, en effet, n'a été longtemps qu'un produit de collection, d'une pureté fort douteuse ; et, malgré le beau travail de M. Roscoë, qui a donné le moyen de l'extraire à l'état de pureté du chlorate de potasse, il n'a pas pris sa place parmi les produits chimiques qui alimentent nos laboratoires.

Je vais montrer que le procédé de Serullas devient l'un des plus précis de l'analyse, quand on emploie l'acide perchlorique pur fourni par le perchlorate d'ammoniaque.

Je décrirai d'abord la préparation de ce sel qui peut être obtenu facilement de deux manières différentes.

La première comporte trois opérations : préparation du chlorate de soude, transformation par la chaleur du chlorate en perchlorate, transformation du perchlorate de soude en perchlorate d'ammoniaque par le chlorhydrate d'ammoniaque.

Le chlorate de soude peut être obtenu en grande quantité, soit en traitant par le sel de soude le mélange de chlorure et de chlorate calciques que donne la dissolution d'hypochlorite de chaux saturée de chlore et portée à l'ébullition, soit en saturant directement de chlore le sel de soude. On lit dans plusieurs Traités de Chimie qu'il est difficile de séparer le chlorure et le chlorate sodiques produits en même temps; c'est une erreur réfutée par les chiffres suivants :

	Chlorate de soude.	Chlorure de sodium.
100 d'eau dissolvent à la température de 12 degrés	89,3	»
100 d'eau, à 12 degrés, agitée avec des excès de chlorate et de chlorure	50,75	24,4
100 d'eau bouillante sur un excès des deux sels, à 122 degrés	249,6	11,5
100 d'eau de cette dissolution bouillante refroidie à 12 degrés	68,6	11,5

D'où l'on voit que 100 d'eau saturée à 122 degrés de chlorate, en présence de chlorure, déposent par le refroidissement 181 de chlorate, et que le sel marin reste tout entier en dissolution. N'est-il pas évident, d'après ces résultats, que la séparation des deux sels ne présente aucune difficulté et rentre dans la classe des opérations les plus familières aux fabricants de produits chimiques ?

La transformation du chlorate de soude en perchlorate par la chaleur est semblable à celle que subit le chlorate de potasse dans les mêmes conditions ; elle m'a même paru

plus nette, en ce sens que le dégagement d'oxygène devient presque nul, quand la matière a pris la consistance pâteuse.

Le résultat de l'opération est un mélange de chlorure de sodium, d'un reste de chlorate, et surtout de perchlorate. On reprend par le moins d'eau possible ; après digestion, on obtient une dissolution sirupeuse de perchlorate ; la majeure partie du chlorure et du chlorate en est exclue, et demeure à l'état de précipité cristallin qu'on sépare par l'égouttage sur un entonnoir. La dissolution, mêlée à chaud avec de l'eau bouillante saturée de sel ammoniac, laisse déposer, par le refroidissement, de gros cristaux de perchlorate d'ammoniaque.

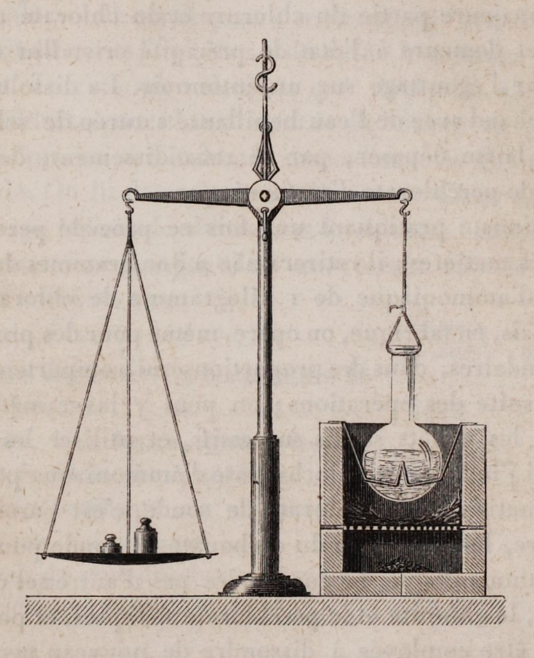
Un chimiste pratiquant une fois ce procédé perdra la moitié des matières ; il retirera 250 à 300 grammes de perchlorate d'ammoniaque de 1 kilogramme de chlorate de soude; mais, en fabrique, on opère, même pour des produits très-secondaires, dans des proportions qui comportent une certaine suite des opérations ; on peut y laver méthodiquement les dépôts salins successifs, et utiliser les eaux mères. Si j'indique le chlorhydrate d'ammoniaque pour la transformation du perchlorate de soude, c'est parce que l'eau mère, bouillie avec du carbonate de soude pour éliminer l'ammoniaque, ne contiendra pas d'autre sel que le chlorure, le chlorate et le perchlorate sodiques, et pourra, dès lors, être employée à dissoudre de nouveau perchlorate de soude.

Lorsque le perchlorate d'ammoniaque cristallise en présence de sels potassiques, il entraîne de la potasse dont on ne peut plus le débarrasser par des cristallisations répétées ; il serait donc essentiel que le chlorate de soude, point de départ du travail, fût exempt de potasse. Mais, lors même que le sel de soude contiendrait de la potasse, on arriverait à se débarrasser de ce dernier alcali lors de la transformation du perchlorate d'ammoniaque en acide perchlo-

rique, comme on va le voir plus loin. Une seconde cristallisation suffit pour la purification de ce sel.

Pour vérifier la pureté du perchlorate d'ammoniaque, on le décompose par l'eau régale faible, et l'on évapore à sec; il ne doit laisser aucun résidu.

La seconde méthode est encore plus facile et également d'un emploi avantageux. Elle se divise en trois opérations :



transformation du chlorate de potasse en perchlorate, décomposition du perchlorate par l'acide hydrofluosilicique, transformation de l'acide perchlorique en perchlorate d'ammoniaque.

Un poids connu de chlorate de potasse pur et fondu, par exemple 700 grammes, est placé dans un ballon de 1 $\frac{1}{2}$ litre de capacité, suspendu au fléau d'une balance. L'autre fléau porte des poids en quantité telle que le ballon est soulevé et par suite éloigné du foyer lorsque la transformation en

perchlorate est produite, ce qui arrive quand le chlorate a perdu 8 $\frac{1}{2}$ pour 100 de son poids par suite du dégagement d'oxygène. L'opération s'arrête ainsi d'elle-même quand elle est arrivée au point voulu. Pour empêcher le perchlorate formé de cristalliser sur les parois de la panse du ballon, on place celui-ci dans un fourneau de dimensions telles que le col du ballon seul dépasse le dessus du fourneau. On chauffe au moyen du charbon de bois comme s'il s'agissait de la préparation de l'oxygène. Quand le dégagement se produit, on règle la température au moyen du cendrier. Il y a d'ailleurs assez d'intervalle entre les parois du ballon et celles du fourneau pour qu'on puisse alimenter le feu avec du charbon.

Lorsque, par suite du départ de l'oxygène, le ballon est soulevé, on promène la matière fondue sur les parois pour l'étaler, afin de faciliter la dissolution par l'eau. Après le refroidissement on traite à plusieurs reprises le contenu du ballon par de l'eau bouillante jusqu'à dissolution complète. On verse ces dissolutions successives dans un vase plongé dans l'eau froide en remuant fréquemment. De cette manière le perchlorate se dépose en très-petits cristaux pulvérulents qu'on met à égoutter sur un entonnoir et qu'on lave ensuite méthodiquement jusqu'à ce que les eaux de lavage ne précipitent plus par le nitrate d'argent. On prélève quelques grammes du perchlorate ainsi obtenu ; on y détermine par dessiccation la teneur réelle en perchlorate. D'un autre côté, par un titrage alcalimétrique on détermine la richesse d'une solution d'acide hydrofluosilicique. On verse sur les cristaux de perchlorate humides précédemment obtenus la quantité d'acide hydrofluosilicique nécessaire à une transformation complète en fluosilicate, sans mettre un excès notable d'acide hydrofluosilicique. On laisse en contact pendant deux jours en agitant fréquemment ; à la fin on chauffe à 40 degrés au bain-marie. On filtre sur de l'amiante et l'on concentre la dissolution jusqu'à apparition de

vapeurs blanches. On abandonne alors le liquide à lui-même ; il dépose quelques cristaux de perchlorate de potasse, sel insoluble dans l'acide perchlorique concentré. La liqueur décantée est sursaturée par l'ammoniaque. Il se forme un précipité blanc de perchlorate d'ammoniaque peu soluble, mélangé d'oxyde de fer, d'alumine, de silice. On porte à l'ébullition en ajoutant assez d'eau pour dissoudre le sel formé. Cette dissolution ammoniacale filtrée à chaud est parfaitement incolore ; elle laisse déposer par refroidissement de beaux cristaux de perchlorate d'ammoniaque que deux nouvelles cristallisations permettent d'obtenir à l'état de pureté. Ce sel se conserve indéfiniment, plus facilement que ne le ferait l'acide perchlorique qui pourrait à la longue, en attaquant le verre du flacon qui le contient, dissoudre de petites quantités d'alcalis. La conservation des réactifs sous la forme solide est en général à recommander. Ce perchlorate sert à préparer l'acide perchlorique à mesure des besoins.

M. H. Sainte-Claire Deville a enseigné depuis longtemps à détruire l'ammoniaque dans les analyses par l'eau régale faible ; on transforme ainsi en quelques minutes le perchlorate d'ammoniaque en un mélange d'acides perchlorique, nitrique et chlorhydrique.

Mettant à profit cette réaction, on prend une centaine de grammes de perchlorate d'ammoniaque qu'on place dans un ballon ; on recouvre les cristaux d'acide azotique étendu de son volume d'eau et l'on ajoute une petite quantité d'acide chlorhydrique en chauffant de manière à avoir un dégagement modéré d'azote. Vers la fin, on ajoute un peu d'acide chlorhydrique pour voir si le dégagement gazeux n'augmente pas. Dans ce cas, on regarde l'élimination de l'ammoniaque comme terminée, on continue à chauffer jusqu'à apparition de vapeurs blanches et l'on obtient comme résidu un liquide dense constitué par l'acide perchlorique mélangé d'une très-petite quantité

d'acide nitrique, qui ne gêne nullement dans les dosages. Cet acide peut déposer encore après deux jours de repos un peu de perchlorate de potasse ; il convient pour l'usage de l'étendre dans un volume d'eau déterminé et de l'employer avec des burettes graduées afin d'estimer le poids d'acide à employer.

Cette précaution est surtout convenable dans les dosages très-délicats, si la dissolution perchlorique contient encore des traces de potasse. En effet, en en évaporant un volume connu, on peut toujours y déterminer la potasse et faire, s'il y a lieu, la faible correction que nécessitera cette impureté. C'est, du reste, une habitude qu'il est bon de recommander aux analystes d'employer toujours des quantités mesurées de réactif.

Marche de l'analyse. — L'acide perchlorique, par sa fixité et son énergie plus grande, chasse absolument les acides nitrique et chlorhydrique de leurs combinaisons salines : le mélange des trois acides se comporte vis-à-vis des nitrates et des chlorures comme de l'acide perchlorique seul et les bases sont totalement transformées en perchlorates, pour peu que l'équivalent d'acide dépasse celui des bases et à condition que la chaleur soit poussée à un degré suffisant.

On voit par là qu'il est inutile d'avoir recours aux perchlorates d'argent et de baryte, ainsi que le conseille Serullas, pour doser, au début de l'analyse, le chlore et l'acide sulfurique. Le chlorure de baryum et le nitrate d'argent peuvent ici remplir leur office ordinaire, puisque les acides nitrique et chlorhydrique qu'ils introduisent sont plus tard chassés par l'acide perchlorique.

Je considère maintenant un mélange de chlorures ou de nitrates de potasse ou de soude. Je suppose qu'on a concentré la dissolution sur le bain de sable, dans une petite

capsule de porcelaine tarée. On y verse l'acide, et l'on évapore.

Cependant, quand on opère sur un mélange de nitrate et de chlorure, il est bon, avant l'addition d'acide perchlorique, d'éliminer le chlore par un excès d'acide nitrique, en évaporant avec ménagement. Si l'on ne prenait pas cette précaution, le liquide pourrait se surchauffer sous la masse cristalline, ce qui donnerait lieu à des projections.

Lorsque la matière est presque sèche, il s'en dégage des fumées blanches épaisses : c'est le signe que l'acide perchlorique est en excès, et que la transformation des sels est complète. Quand ce dégagement a pris fin, on laisse refroidir, et on lave le perchlorate de potasse en plusieurs fois par de petites quantités d'alcool à 36 degrés, que l'on décante sur un petit filtre : celui-ci retient les parcelles de sel potassique entraînées. Il convient de pulvériser la masse avec un agitateur dont une extrémité a été aplatie en forme de disque. Plus la soude est abondante, plus le perchlorate de potasse en retient dans ses cristaux. Aussi convient-il de dissoudre à chaud, dans le moins d'eau possible, le perchlorate à peu près lavé, et d'évaporer à sec. Deux lavages à l'alcool achèvent ensuite la purification du sel. On dissout par quelques gouttes d'eau bouillante le perchlorate entraîné sur le filtre; on les reçoit dans la capsule, on évapore de nouveau à sec et l'on chauffe jusqu'à 250 degrés environ ; le sel est alors absolument desséché et bon à peser. La dissolution alcoolique de perchlorate de soude est évaporée dans une capsule de platine; le résidu est traité par l'acide sulfurique en excès convenable, et transformé finalement en sulfate neutre de soude.

Voici quelques résultats d'analyses destinés à fixer la valeur de la méthode :

			Trouvé.
Opéré sur	$643^{mg},2$ chlorure de potassium.		Chlor. potass.
»	$385^{mg},5$ chlorure de sodium.	Perchlor. potasse..	$1193^{mg},9 = 643^{mg},2$.
Employé	$2^{gr},2$ perchlor. d'ammoniaque.		Chlor. sodium.
»	3^{cc} d'alcool à 36°.	Sulfate de soude...	$467^{mg},8 = 385^{mg},4$.
Opéré sur	$35^{mg},8$ chlor. de potassium.		Chlor. potass
»	$1296^{mg},7$ chlorure de sodium.	Perchlor. potasse..	$64^{mg},0 = 34^{mg},5$.
Employé	3^{gr} perchlorure d'ammoniaque.		Chlor. sodium.
»	40^{cc} d'alcool à 36°	Sulfate de soude...	$1570^{mg},5 = 1294^{mg}$.
Opéré sur	$777^{mg},2$ chlorure de potassium.		Chlor. potass.
»	$2^{mg},3$ chlorure de sodium.	Perchlor. potasse..	$1143^{mg},0 = 777^{mg},0$.
Employé	2^{gr} perchlorure d'ammoniaque.		Chlor. sodium.
»	20^{cc} d'alcool à 36°.	Sulfate de soude...	$2^{mg},9 = 2^{mg},4$.

On voit que le procédé par l'acide perchlorique permet de séparer la potasse et la soude, lors même que l'une des bases est en quantité très-faible par rapport à l'autre; j'ai même pu constater que mon chlorure de potassium, bien que purifié par trois cristallisations, contient encore des traces de soude. En effet, $3^{gr},5$ de ce sel transformés en perchlorate ont abandonné à l'alcool 5 milligrammes de perchlorate de soude équivalant à $2^{mg},5$ de chlorure de sodium. Cette soude ne provenait pas des vases, car une expérience à blanc, faite avec les réactifs employés, n'a rien donné.

Lorsque la potasse et la soude sont accompagnées d'acide sulfurique ou d'acides fixes, ceux-ci doivent être d'abord éliminés par les procédés en usage. J'ai constaté que la présence de la chaux, de la baryte, de la magnésie ne gêne en aucune façon l'exacte séparation du perchlorate de potasse. En voici un exemple opéré sur :

	mg
Chlorure de potassium	83,5
Sulfate de magnésie............	574,0
Chlorure de sodium............	1298,0
Chlorure de calcium............	233,0

Après élimination de l'acide sulfurique par le chlorure

de baryum et conversion des bases en perchlorates, on trouve :

Perchlorate de potasse 153^{mg}, 1 = 82^{mg}, 4 chlorure de potassium.

Je ferai remarquer que la séparation de la potasse peut se faire presque au début d'une analyse, et qu'ainsi le procédé devient très-expéditif quand il s'agit seulement de déterminer cette base.

Ainsi, pour la doser, dans une cendre végétale, par exemple, on attaquera 1 gramme de cendre par l'acide nitrique dans une capsule de porcelaine; on évaporera à sec pour séparer la silice et l'on reprendra par l'eau. Dans cette dissolution, on ajoutera un léger excès d'eau de baryte, on filtrera et l'on évaporera à sec. Sur le résidu, on versera l'acide perchlorique et l'on desséchera jusqu'à élimination des vapeurs blanches qui indiquent le départ de l'acide perchlorique en excès; on lavera par l'alcool à 36 degrés, comme il est dit plus haut, et l'on pèsera le résidu, qui sera constitué uniquement par du perchlorate de potasse.

ÉTUDE

SUR LES

FONCTIONS PHYSIQUES DES FEUILLES

TRANSPIRATION, ABSORPTION DE LA VAPEUR AQUEUSE, DE L'EAU, DES MATIÈRES SALINES;

PAR M. JOSEPH BOUSSINGAULT.

I. L'eau puisée dans le sol par les plantes, quand elle ne se fixe pas dans l'organisme, est déversée dans l'atmosphère, par suite de l'évaporation accomplie à leur surface, et d'autant plus rapidement que la température est plus élevée, l'air plus sec, plus agité. Aussi la transpiration des parties vertes des végétaux est-elle, sinon interrompue, du moins grandement atténuée durant la nuit, pendant la pluie ou le brouillard; Hales a cherché à l'évaluer dans ses mémorables expériences *sur la quantité de liqueur que les arbres tirent et transpirent.*

Une plante venue dans un pot, et dont on connaissait la surface des feuilles, était pesée matin et soir. Le sol étant maintenu humide, dans une série d'observations exécutées en juillet sur un grand Soleil, Hales trouva que la plante perdait par la transpiration, en douze heures de jour :

En moyenne	567^{gr},6 d'eau
Au maximum	850,5

La surface des feuilles étant de 3^{mq},62, il en résulte qu'en douze heures de jour l'eau sortie de 1 mètre carré pesait :

En moyenne	156^{gr},8
Par décimètre carré et par heure	0,13
Au maximum	0,196

Hales ne dit pas s'il entendait par surface les deux côtés du limbe. Comme il est évident que la transpiration a lieu par les deux faces, dans le cours de mes recherches, on a pris pour la superficie de la feuille la somme des deux surfaces.

Voici, d'après Hales, pour quelques plantes, la quantité d'eau transpirée en une heure pendant le jour par 1 décimètre carré de feuilles :

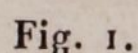
		gr
Choux :	moyenne	0,255
	maximum	0,336
Vigne :	moyenne	0,11
Pommier :	moyenne	0,22
	maximum	0,25
Citronnier :	moyenne	0,09
	maximum	0,12

Les expériences faites sur la menthe, le poirier nain, le houblon ne sont pas discutables au point de vue qui nous occupe, parce que Hales n'a pas indiqué la surface des feuilles; il s'est borné à constater que la menthe n'a pas transpiré la nuit, que les feuilles du poirier ont perdu plus d'eau par la transpiration qu'il n'en est entré dans l'arbuste par les racines; que les plants de houblon ont transpiré davantage sur les bords que dans l'intérieur de la houblonnière.

Dans les expériences que j'ai exécutées, j'ai tenu d'abord à procéder exactement comme Hales. Toutefois, on n'a pas seulement mesuré la transpiration d'une plante pendant douze heures de jour, par la raison que l'état de l'atmosphère varie pendant cet intervalle. On a déterminé l'eau dissipée par l'évaporation, les feuilles étant exposées au soleil, à l'ombre et pendant la nuit. Pour chaque observation, on a noté la température de l'air, son état hygrométrique indiqué par le psychromètre.

Le sujet de la première observation fut un topinambour (*Helianthus tuberosus*) développé dans un pot vernissé à

l'extérieur. Comme dans l'expérience fondamentale de Hales, toutes les dispositions avaient été prises pour que l'humidité ne se dégageât pas directement de la terre végé-


Fig. 1.



tale ; un couvercle en caoutchouc était ajusté à la base de la tige et sur les pourtours du vase. Deux tubes de verre *a*, *a'*, d'une assez grande section, traversaient le couvercle pour introduire l'eau d'arrosage et laisser pénétrer l'air (*fig.* 1). Tout le système pesait 6 kilogrammes. La balance chargée

de ce poids était sensible à $0^{gr},1$. Les expériences terminées, on a pris la surface des parties vertes :

Surface d'un côté des feuilles...........	3762^{cq}
Surface double, les deux côtés du limbe....	7524
Surface des pétioles.....................	85,5
Surface de la tige.......................	111,6
Surface totale.........	7721,1 [1].

Première observation, 29 *août* 1866.

La plante exposée au soleil de...	$8^h.20^m$ du matin.
à...........................	4.30 de l'après-midi.
Temps écoulé.................	8.10

Eau évaporée indiquée par la balance..........	$102^{gr},0$
Par heure....................................	12,49
Par heure et par décimètre carré	0,16
A midi, température à l'ombre................	$24^{o},5$
Psychromètre................................	62 [2]

Ciel nuageux.

L'*Helianthus tuberosus* est resté exposé en plein soleil, par un vent d'est assez fort; aussi les feuilles sont-elles devenues légèrement flasques, comme il arriva du reste pour les plants d'un champ de topinambour. On voit que dans la grande culture, comme pour le sujet de l'observation,

[1] On a mesuré la surface des feuilles de deux manières : 1° en découpant un morceau de papier ayant la même superficie que la feuille, le pesant après avoir pris le poids d'un décimètre carré du même papier; 2° en collant sur un marbre toutes les feuilles de la plante ajustées et disposées en un parallélogramme, ce qui convient surtout quand les feuilles sont nombreuses ou quand elles sont de grandes dimensions.

[2] Le degré psychrométrique indiquant l'état hygrométrique ou l'humidité relative, déduite de la différence observée entre le thermomètre sec et le thermomètre mouillé.

l'évaporation à la surface des feuilles devait avoir été plus rapide que l'ascension de l'eau introduite par les racines. A $4^h 30^m$ du soir, à l'ombre, toutes les feuilles étaient redressées.

Deuxième observation, 29 *et* 30 *août* 1866.

Le 29, l'*Helianthus tuberosus* fut pesé à $4^h 30^m$ du soir, et placé dans une situation où il ne pouvait pas recevoir le soleil. Le matin du jour suivant, le 30 août, on le pesa à $10^h 30^m$; il avait perdu :

Eau	$23^{gr},0$
Au lever du soleil, température	18°
État hygrométrique	71

Tant à l'ombre qu'à l'obscurité, la plante, en dix-huit heures, avait perdu 23 grammes d'eau :

Par heure	$1^{gr},28$
Par heure et par décimètre carré	0,032

Troisième observation, 5 *septembre* 1866.

La plante fut exposée au soleil à	$9^h.35^m$ matin
» retirée à	5.35 soir
Temps écoulé	8.00
Eau perdue	$355^{gr},0$
Par heure	44,37
Par heure et par décimètre carré	1,121
Température à l'ombre	$27^o,6$
Psychromètre	32,0

Vent d'est assez fort.

On voit combien une température élevée, le vent, la sécheresse influent sur la transpiration.

Quatrième observation, 5 *et* 6 *septembre*.

La plante fut mise à l'ombre dans un lieu où elle ne pouvait pas recevoir les rayons du soleil levant.

Exposée le 5 septembre à	5.45 (^{h} ^{m}) soir.
Pesée le 6 septembre à	6.45 matin.
Temps écoulé	13.00
Eau évaporée	48,0 gr
Par heure	3,64
Par heure et par décimètre carré	0,091

A 8 heures du matin, le 6 septembre :

Température	20,9 °
Psychromètre	60,0

Cinquième observation, 6 *et* 7 *septembre*.

Exposition du 6 septembre à	6.45 (^{h} ^{m}) matin.
» au 7 septembre à	8.15
Temps écoulé	25.30

15 heures de jour au soleil : $10^{h}30^{m}$ de nuit.

Eau évaporée	228,0 gr
Par heure	8,94
Par heure et par décimètre carré	0,116

6 septembre, 8 heures du matin.

Température	28,8 °
Psychromètre	50,0

Sixième observation, 6 septembre.

8h 15m du matin jusqu'au 10 septembre, 8h 15m du matin :

Heures du jour	36h.0m
Heures de nuit	36.0
Temps écoulé	96.0
Eau évaporée	777gr,00
Par heure	8,09
Par décimètre carré en une heure	0,11

7 septembre, 9 heures du matin :

Température	20°,5
Psychromètre	60,0

9 septembre, à 5 heures du soir :

Température	22°,6
Psychromètre	63,5

Septième observation, 10 *septembre.*

La plante est restée dans l'obscurité du 10 septembre, à 8h30m du matin, au 12 septembre, à 8h30m du matin :

Temps écoulé	48h.00
Eau évaporée	82gr,00
Par heure	1,71
Par heure et par décimètre carré	0,043

12 septembre, à 5 heures du matin :

Température	23°,2
Psychromètre	74,0

Huitième observation, 12 *septembre.*

La plante dans l'obscurité du 12 septembre, $8^h 30^m$ du matin, au 14 septembre, $8^h 30^m$ du matin :

Temps écoulé	$48^h,00$
Eau évaporée	$48^{gr},00$
Par heure	1,00
Par décimètre carré et par heure	0,025

14 septembre, à $8^h 30^m$ du matin :

Température	$14^o,6$
Psychromètre	95,5

Neuvième observation, 14 *septembre.*

La plante exposée au soleil à	$8^h.30^m$ du matin.
Retirée à	4.00 du soir.
Temps écoulé	7.30
Eau évaporée	$205^{gr},05$
Par heure	27,33
Par décimètre carré et par heure	0,69
A midi, température de l'air	$24^o,00$
Psychromètre	30,00

Temps calme.

Dixième observation, 14 *et* 15 *septembre.*

La plante exposée à l'abri du soleil du 14 septembre, 5 heures du soir, jusqu'au 15 septembre, 7 heures du matin :

Soit à l'ombre pendant	$2^h.56^m$
Pendant la nuit	11.24
Temps écoulé	14.00
Eau évaporée	$27^{gr},05$
Par heure	1,96
Par décimètre carré et par heure	0,05

Le 15 septembre, à 7 heures du matin :

Température	14°,02
Psychromètre	70,00

Onzième observation, 15 septembre.

La plante au soleil dans un champ :

Exposée à	7h.20m du matin.
Pesée à	5.00 soir.
Temps écoulé	9.40
Eau évaporée	200gr,3
Par heure	20,93
Par heure et par décimètre carré	0,528

A 4 heures du soir :

Température	22°,6
Psychromètre	31,5

Les feuilles sont devenues pendantes vers 2 heures de l'après-midi. Les feuilles de topinambours et de betteraves de la grande culture se trouvaient dans le même état; elles étaient flétries dès 10 heures du matin. Dans les plantes des champs, comme dans la plante en expérience, l'eau du sol n'arrivait donc pas assez vite pour remplacer l'eau évaporée à la surface des parties vertes. Vers le soir les feuilles commençaient à se redresser.

Douzième observation, 15 et 16 septembre.

La plante est restée à l'ombre et à l'obscurité depuis le 15, à 5 heures du soir, jusqu'au 16 septembre, à 7h 30m du matin :

Temps écoulé	14h.30m
Eau évaporée	44gr,7
Par heure	3,908
Par décimètre carré et par heure	0,078

16 septembre, à 7 heures du matin :

Température	14°,2
Psychromètre	59,0

Treizième observation, 16 *septembre.*

La plante à l'ombre :

Exposée à	7h.30m du matin.
Retiré à	5.30 du soir.
Temps écoulé	10.00
Eau évaporée	65gr,0
Par heure	6,5
Par heure et par décimètre carré	0,084

A 1 heure du soir :

Température	20°,0
Psychromètre	36,5

Quatorzième observation, 19 *septembre.*

La plante au soleil fut exposée pendant une demi-heure à un vent très-fort, occasionné par le jeu d'un tarare employé au nettoyage du blé :

Eau évaporée	36gr,00
Par heure	72,00
Par décimètre carré en une heure	0,96

Ayant fait cesser la ventilation, l'air étant calme, la plante est restée au soleil ; on l'a pesée une heure après :

Eau évaporée	29gr,00
Par décimètre carré en une heure	0,74

Le thermomètre à l'ombre marquait 22 degrés.

Si la ventilation eût été plus forte, la plante n'aurait pas résisté. Je me propose, dans un travail spécial, d'exa-

miner l'effet d'un vent intense et prolongé sur la végétation.

Les résultats fournis par le topinambour dans la première quinzaine de septembre de l'année 1866 se résument ainsi :

La plante exposée :	Température à l'ombre.	État hygrométrique de l'air indiqué par le psychromètre.	Eau transpirée par les feuilles par heure et par décimètre carré.	
	o	o	gr	
Au soleil (1)........	24,5	62,0	0,16	ciel très-nuageux.
Au soleil (3)........	27,6	32,0	1,12	ciel découvert.
Au soleil (9)........	24,0	20,0	0,69	
Au soleil (11)........	22,6		0,53	
Au soleil (14)........	22,0		0,74	
Au soleil et obscurité (5)..	22,8	50,0	0,116	
Au soleil et obscurité (6)..	21,5	61,7	0,110	
A l'ombre (2)........	18,0	71,0	0,032	
A l'ombre (13)........	20,8	36,5	0,084	
Ombre et obscurité (4)..	20,9	60,0	0,091	
Ombre et obscurité (10).	14,2	76,0	0,05	
Nuit (7)............	23,2	74,0	0,043	
Nuit (12)............	14,2	59,0	0,028	
Nuit (8)............	14,6	96,0	0,025	

L'élévation de la température, la sécheresse, le vent ont favorisé la transpiration, tandis qu'une atmosphère refroidie, calme, humide l'a fortement atténuée.

Ainsi, par heure et par mètre carré de parties vertes, le plant de topinambour a perdu en moyenne :

Au soleil..........................	65	grammes d'eau
A l'ombre..........................	8	»
Pendant la nuit....................	3	»

Hales, ayant plongé dans l'eau la racine d'un pommier nain, trouva qu'en dix heures de jour l'arbre avait absorbé $6^{kg},804$ de liquide, tandis que par les feuilles il en avait perdu $7^{kg},031$. L'absorption par les racines avait donc été

moindre que l'évaporation par les parties vertes. Des branches de pommier, de poirier, de cerisier, d'abricotier portant toutes leurs feuilles et ayant leur extrémité plongée dans l'eau, en aspirèrent en douze heures de jour 424 à 848 grammes, et néanmoins elles étaient plus légères le soir que le matin, tandis que des branches semblables effeuillées n'en aspiraient plus que 28 grammes et pesaient plus le soir que dans la matinée. La quantité de liquide aspirée par les branches feuillues diminuait d'ailleurs rapidement, à ce point que les feuilles se flétrissaient en quatre ou cinq jours, effet que Hales attribuait à un resserrement des vaisseaux séveux opéré à la section transversale des branches.

De ces faits, il semble déjà résulter que l'aspiration de l'eau dans l'organisme végétal est déterminée par la transpiration, par l'évaporation accomplie à la surface des feuilles. Il en résulte aussi qu'une branche isolée ne paraît plus posséder la même force d'aspiration que quand elle fait partie de l'arbre, puisque, bien que son extrémité plonge dans un réservoir, l'eau qu'elle en tire ne suffit plus pour remplacer celle qui est éliminée par l'évaporation.

Existe-t-il donc une force qui s'ajonte à la transpiration des parties vertes pour faire monter l'eau du sol dans la plante? Cette force réside-t-elle dans les racines? C'est ce que Hales pensait avoir prouvé dans une expérience capitale faite le 13 août 1723. « Ayant creusé le sol au pied d'un poirier, il choisit une racine d'un demi-pouce de diamètre, dont il coupa l'extrémité. Le chicot fut introduit et fixé dans un tube de verre de 1 pouce de diamètre et de 8 pouces de longueur qu'il remplit d'eau et auquel il ajouta encore un autre tube ayant 18 pouces de longueur et $\frac{1}{4}$ de pouce de diamètre, dont l'extrémité plongeait dans un vase contenant du mercure. » Le chicot de racine aspira l'eau qu'il touchait avec une telle vigueur qu'en six minutes le mercure s'éleva à la hauteur de 8 pouces. La force

de succion, tout au commencement de l'observation, équivalait à une colonne d'eau de $2^{mm},76$. Cette succion était-elle opérée par la racine ou plutôt par la tige souterraine de la racine? Les expériences de Hales prouvent, en effet, que cette force n'est pas particulière aux racines, puisque les branches garnies de feuilles l'exercent aussi. Le mercure de la jauge dans laquelle plongeait la section d'une branche de pommier, d'un rejeton de vigne, s'éleva de plusieurs pouces. L'ascension du mercure s'arrêtait dès que la branche était dépouillée de ses feuilles. Dans ce cas, l'ascension de l'eau serait donc déterminée uniquement par la transpiration des feuilles. Toutefois, la force ascendante diminue rapidement, les feuilles se dessèchent, ce qui n'arrive pas pour une plante pourvue de racines en contact avec un sol humide.

En prenant pour point de départ les expériences du physiologiste anglais, on a cru devoir mesurer cette transpiration, c'est-à-dire déterminer la quantité d'eau que les feuilles laissent échapper à l'état de vapeur, soit au soleil, soit à l'ombre, quand la plante est pourvue ou privée de racines.

Première observation (21-22 *mai* 1867), *Polonia*.

Une branche coupée à midi 27^{m} a été plongée par sa base dans un vase jaugé contênant de l'eau et exposée au soleil. La surface simple des feuilles était de $0^{mq},201$ [1], soit, pour les deux côtés du limbe, $0^{mq},402$:

		Eau de la jauge.	Poids de la branche.
	m	cc	gr
Branche mise à...	midi 30	46	65,6
Retirée à........	$5^{h}.00$	41	61,3
Temps écoulé..	$4^{h}.30$	— 5	— 4,3

(1) L'orifice de la jauge était fermé par un tampon de coton pour empêcher l'évaporation de la surface de l'eau.

La branche avait aspiré dans la jauge : eau..	$5^{gr},0$
Elle en avait perdu........................	4,3
Eau disparue..............................	9,3 en $4^h\ 30^m$
Par décimètre carré en une heure........	$0^{gr},051$

On remarquera que près de la moitié de l'eau évaporée avait été fournie par les feuilles, l'aspiration ayant été bien loin de suffire à l'évaporation.

Deuxième observation.

La branche a été replacée dans la jauge, exposée à l'ombre; on l'a retirée le jour suivant à 9 heures du matin.

			Eau de la jauge.	Poids de la branche.
Le 21 mai....	5^m	soir............	41^{cc}	$61^{gr},3$
Le 22 mai....	9	matin.........	37	61,0
Temps écoulé.	16		— 4	— 0,3
Eau évaporée en vingt et une heures...........				4,3
Par décimètre carré en une heure.............				$0^{gr},005$

La transpiration a été très-faible à l'ombre et pendant la nuit. L'eau évaporée représente à très-peu près celle que la plante avait soutirée à la jauge. L'aspiration avait été suffisante, parce que la transpiration fut, pour ainsi dire, nulle.

Troisième observation (3 *juillet*). — *Menthe avec racines.*

La surface totale des feuilles, au nombre de treize, était de 2 décimètres carrés y compris celle des tiges :

Exposée au soleil à.	$8^h.45^m$	Eau dans la jauge.	$212^{cc},0$
Retirée à.........	1. 5	»	205,2
Temps écoulé.....	4.20	Eau évaporée..	7,1

Par décimètre carré, en une heure			$0^{gr},824$
A 9^h du matin, tempér.	$22°,0$	Psychromètre.	$38°,0$
A 5^h30^m	» $24°,0$	»	$28°,5$

La plante a été placée à l'ombre.

	h m		cc
Mise après midi à.	1. 5	Eau dans la jauge.	205,2
Retirée à	4.30	»	202,8
Temps écoulé	3.25	Eau évaporée	2,4
Par décimètre carré en une heure			$0^{gr},360$

A 4^h30^m.

Température . . . . $23°,4$

Psychromètre . . . . $33°,0$

Quatrième observation (4 *juillet*). — *Menthe sans racines.*

Un plant portant quinze feuilles d'une surface totale de $2^{dmq},2$ a été plongé dans la jauge aussitôt qu'on eut séparé les racines.

L'exposition eut lieu au soleil :

	h m		cc
Mis à	8. 0	Eau dans la jauge.	179,4
Retiré à	1.10	»	177,5
Temps écoulé	5.10	Eau évaporée	1,9
Par décimètre carré en une heure			$0^{gr},16$

A 9 heures du matin :

Température . . . . $22°,0$

Psychromètre . . . . $39°,0$

L'appareil étant à l'ombre :

	h m		cc
Exposé à	1.10	Eau dans la jauge.	177,5
Retiré à	4.35	»	176,3
Temps écoulé	3.25	Eau évaporée	1,2
Par décimètre carré en une heure			$0^{gr},159$

La menthe avec racines, soit au soleil, soit à l'ombre, a perdu plus d'eau que la menthe sans racines.

Cinquième observation (*7 juillet*). — *Avoine.*

On a opéré sur une graminée.

On a enlevé d'un champ une touffe d'avoine que l'on a plantée dans du sable humide contenu dans un vase en verre. Un couvercle en caoutchouc était ajusté de manière que l'évaporation ne pût avoir lieu que par les parties vertes.

Le vase fut enfoncé dans le sol pour le protéger contre l'ardeur du soleil; c'est par la balance qu'on a déterminé l'eau transpirée :

La surface des feuilles était................	$1452^{cq},0$
Surface des tiges........................	251,0
Superficie des parties vertes..................	1703,0

Exposée au soleil à.	$9^h.27^m$	Poids de la jauge.	$815^{gr},0$
Retirée à.........	1.40	»	801,5
Temps écoulé.....	4.13	Eau évaporée....	13,5
Par décimètre carré en une heure...........			$0^{gr},189$

A 10 heures du matin :

Température..........................	25°,9
Psychromètre..........................	51°,0

Avoine :

Les plants ayant une surface de 17 décimètres carrés, placés dans du sable humide, ont été exposés pendant la nuit :

Le soir à........	$10^h.30^m$	Poids de la jauge.	$797^{gr},0$
Retiré le 8 juillet à	3.55 mat.	»	793,0
Temps écoulé.....	5.25	Eau évaporée..	4,0
Par heure et par décimètre carré............			$0^{gr},044$

Sixième observation (7 août 1867). — Maïs avec racines.

La surface des feuilles a été trouvée de..........	cq 5238
Surface de la tige..........................	0222
Surface totale des parties vertes du plant........	5460

I. Exposition au soleil :

A.............	10h.40m	Poids de la jauge.	2023gr,0
Retiré à.......	3.30	»	1960,0
Temps écoulé...	4.50	Eau évaporée....	62,5
Par décimètre carré et en une heure..........			0gr,236

A 11 heures du matin :

Température..............................	17°,7
Psychromètre..............................	61,5

II. Le même appareil placé à l'ombre :

Mis, après midi, à.	3h.30m	Poids de la jauge.	1960gr,5
Retiré à........	6.25	»	1949,0
Temps écoulé....	2.55	Eau évaporée....	11,0
Par décimètre carré et en une heure..........			0gr,069

A 7 heures du soir :

Température..............................	18°,4
Psychromètre..............................	60°,5

Septième observation (10 août) : Oignon.

I. Exposition au soleil :

Surface totale des parties vertes..........			0mq,039
Exposé à.....	9h.40m matin	Poids de la jauge..	257gr,7
Retiré à......	3. 5	»	247,7
Temps écoulé.	5.25	Eau évaporée....	10,0

Par décimètre carré en une heure.......... . $0^{gr},475$

Température........................... $21^{gr},5$

Psychromètre........................... 72,0

II. L'appareil placé à l'ombre :

Exposé à.....	$3^h.5^m$	Poids de la jauge.	$247^{gr},7$
Retiré à......	7.40	»	247,2
Temps écoulé.	3.45	Eau évaporée...	0,5

Par décimètre carré en une heure............ $0^{gr},034$

III. Un plant auquel on avait enlevé la bulbe a été introduit dans la jauge. La surface totale des feuilles était.............................. $0^{mq},0266$

Exposition au soleil :

Exposé à.....	$9^h.40^m$	Poids de la jauge.	$196^{gr},0$
Retiré à......	3.40	»	193,2
Temps écoulé.	6.00	Eau évaporée...	2,8

Par décimètre carré en une heure.............. $0^{gr},18$

A 10 heures, température...................... $21^o,6$

IV. Appareil placé à l'ombre :

Exposé à.....	$3^h.40^m$ soir.	Poids de la jauge	$193^{gr},2$
Retiré à......	7.40 soir.	»	193,0
Temps écoulé.	4.00	Eau évaporée...	0,2

Par décimètre carré en une heure............ $0^{gr},019$

Psychromètre............................ $65^o,0$

Après l'ablation de la bulbe, la plante n'a plus transpiré à beaucoup près autant.

Ces observations viennent à l'appui du fait énoncé précédemment, que l'aspiration de l'eau du sol par le végétal

est surtout déterminée par la transpiration des feuilles, puisqu'elle a lieu, du moins pendant un certain temps, sans le concours des racines, mais alors elle n'est pas continue ; les racines paraissent donc douées d'une puissance d'injection, comme d'ailleurs Hales l'a reconnu dans l'expérience *sur la force de la séve à l'époque des pleurs de la vigne,* alors qu'il n'y a pas encore de feuilles. Au reste, l'éjaculation des liquides accumulés dans les organes souterrains n'est pas particulière à la vigne et ne se manifeste pas seulement au printemps, ainsi que Hales le pensait ; elle est constante pour l'agave américain, les lianes, les palmiers. Il suffit d'en couper la tige un peu au-dessus du niveau du sol pour en voir sortir, quelquefois en abondance, de la séve dont on extrait des matières sucrées produisant des boissons alcooliques. Hoffmeister a d'ailleurs montré que les arbustes, les plantes herbacées émettent plus ou moins de séve en toute saison, quand on en coupe la tige près des racines ; il a pu, à l'aide d'un appareil manométrique, en mesurer la force ascensionnelle, souvent considérable. Toutefois il y aurait lieu de rechercher si des gaz comprimés ou formés par la fermentation de matières sucrées dont la séve n'est jamais exempte ne contribuent pas, en s'échappant, à l'émission du liquide.

Une pression exercée sur la section d'une branche feuillée supplée momentanément à l'action des racines. Hales croyait que si l'effet n'était pas permanent, c'était parce que des parties ligneuses des branches finissaient par être oblitérées. On ne conçoit plus cette oblitération quand on injecte de l'eau distillée ; et il est probable que, si la pression exercée par la colonne liquide n'agit pas comme la force d'injection attribuée aux organes souterrains, c'est que, dans le premier cas, il n'arrive que de l'eau dans la tige, tandis que, dans le deuxième cas, il vient de l'eau et de l'air dont le rôle ne saurait être contesté, depuis les intéressantes expériences de M. Jamin.

Dans l'opinion de Hales, la pression exercée sur la section d'une branche plongée dans l'eau remplacerait donc la force d'injection attribuée aux racines.

Le 17 août, il cimenta un tube de verre long de 9 pieds et de $\frac{1}{2}$ pouce de diamètre à une branche de pommier de 5 pieds de long et de $\frac{3}{4}$ de pouce de diamètre; ayant versé de l'eau dans le tube, il constata que cette eau baissa de 3 pieds en une heure. La branche ayant été coupée ensuite à 13 pouces au-dessus du point d'attache, il la plaça dans un vase contenant de l'eau : elle absorba 18 onces de liquide en dix-huit heures de jour et douze heures de la nuit, où l'évaporation a dû être insignifiante. Voyons de combien la pression d'une colonne d'eau de 9 pieds a favorisé la transpiration. En réduisant les mesures anglaises, on trouve que, sous une pression équivalant à 20 centimètres de mercure, en une heure, pour une même surface de feuilles, le volume de l'eau disparue a été de 232 centimètres cubes, tandis que par la seule force d'absorption le volume éliminé de la jauge n'a plus été que de $28^{cc},3$.

Pour se former une idée exacte de la faculté de transpiration exercée dans ces deux conditions, il eût fallu connaître l'étendue de la superficie des parties vertes. Les expériences que je vais rapporter ont été faites pour combler cette lacune en cherchant à évaluer l'évaporation opérée à la superficie des feuilles, soit par la simple force d'absorption, soit en favorisant cette absorption au moyen d'une pression exercée sur la section de la tige.

2 *mai* 1867. — *Vigne.*

I. Un jet dont la surface des feuilles (les deux côtés du limbe) avait $0^{mq},2268$ a été plongé dans l'eau par sa base.

			Eau dans la jauge.	Poids du rameau.
	h		cc	gr
Au Soleil à......	8	du matin.....	70,0	96,0
Retiré à.........	1	de l'après-midi.	68,0	89,6
Temps écoulé....	5	Eau disparue.	2,0	6,5
				2,0
		Eau évaporée........		8,5
Par décimètre carré de feuilles en une heure...				0,075

L'aspiration n'était pas assez énergique pour remplacer l'eau que les feuilles transpiraient; aussi ont-elles été visiblement flétries. En cinq heures l'eau disparue tant de la jauge que des feuilles pesait 8gr,5. La branche, en perdant 6gr,6 d'eau, n'en avait donc pris que 2 grammes à la jauge.

II. On a fait alors intervenir la pression. Un jet de vigne, dont les feuilles présentaient une surface de 0mq, 18, a été liée à un tube dans lequel on versa de l'eau, de manière que la section du rameau supportât une colonne de 1m,23.

			Poids du rameau.
	h m		gr
Au Soleil à.......	8.10	du matin.....	72,2
Retiré à..........	1.04	de l'après-midi.	68,5
Temps écoulé......	4.54		3,7
Diminution de l'eau dans le tube..........			8,0
Eau totale évaporée....................			11,7
Par décimètre carré en une heure..........			0,132

A 9 heures du matin :

	o
Thermomètre à l'ombre........................	20,7
Psychromètre »	72,0

La transpiration a été doublée par l'influence de la pression, mais, même dans cette condition, l'eau n'est pas entrée en quantité suffisante pour remplacer celle qui était

sortie par l'évaporation et, dans les deux cas, elle a été anormale et de peu d'importance. Aussi les feuilles sont-elles devenues flasques, ce qui n'arriva pas aux feuilles d'une vigne en pleine terre; et même en supposant, ce qui est probable, qu'il entrait moins d'eau venant du sol qu'il n'en sortait, la différence n'était pas assez forte pour affecter le port des feuilles, comme il est arrivé pour les rameaux détachés de la vigne. Les racines favoriseraient donc l'introduction de l'eau du sol dans la plante bien autrement que la pression exercée sur la section d'une branche.

Deuxième observation (*8 septembre* 1867). — *Vigne.*

I. La surface des feuilles portées par le rameau exposé au soleil était $0^{cq},3862$.

			Poids de la jauge.	Poids du rameau.
	h m		gr	gr
Au soleil à . .	8.40	du matin.	520,6	98,5
Retiré à	5.22	de l'après-midi.	504,0	78,5
Temps écoulé	8.42	Eau disparue. .	16,6	20,0
			20,0	
		Eau évaporée. .	36,6	
Par décimètre carré en une heure			$0^{gr},11$	

II. Dans une expérience exécutée parallèlement, on a fait intervenir la pression d'une colonne d'eau de $2^{m},7$, la surface des feuilles étant de $0^{mq},79$.

			Poids du rameau.
	h m		gr
Au soleil à	8.40	du matin.	202,5
Retiré à.	5.22	de l'après midi. . .	183,8
Temps écoulé.	8.42		18,7
Eau injectée par pression.			78,1
Eau évaporée.			96,8
Par décimètre carré en une heure.			$0^{gr},141$

Le 8 septembre, le temps fut très-beau, l'air calme.

A 3 heures : température de l'air............ 26°,2
» psychromètre................. 36°,5

Les feuilles n'ont pas transpiré plus sensiblement sous l'influence de la pression ; l'eau injectée n'a pas suffi pour subvenir à leur transpiration, puisqu'elles ont perdu près de 19 grammes.

Troisième observation (30 *août* 1867). — *Mûrier blanc.*

I. L'extrémité d'une branche dont les feuilles présentaient une surface de $93^{dmq},84$ a été disposée dans une jauge.

		Poids de la jauge.	Poids de la branche.
	h m	gr	gr
A.............	10.00 du matin.	616,95	147,2
Retirée à.......	4.20	607,50	136,2
Temps écoulé...	6.20	— 9,45	— 11,0
		11,00	
		20,45	

L'eau aspirée a été à peu près la moitié de l'eau transpirée par la branche.

Par décimètre carré en une heure........... $0^{gr},035$
A 1 heure : température de l'air.............. 24°,5
» psychromètre................... 62°,0

On fit parallèlement une autre expérience sous la pression d'une colonne d'eau de $2^m,40$.

La surface des feuilles était de 84 décimètres carrés.

	h m		gr
Au soleil, à...	10.00	Poids de la branche..	147,10
Retirée à......	4.20	»	143,15
Temps écoulé..	6.20	»	—3,95
L'eau injectée dans la branche..............			49,70
Eau évaporée.........................			53,65
Par décimètre carré, en une heure..........			0,10

La transpiration des feuilles a été fort différente dans les deux cas. La pression a fait pénétrer beaucoup plus d'eau dans la branche que la simple aspiration n'en avait introduite; néanmoins cette pression n'en a pas encore fourni assez pour remplacer celle qui sortait par l'évaporation; les feuilles en ont encore perdu environ 4 grammes.

Quatrième observation (3 *septembre* 1867). — *Marronnier d'Inde.*

I. Une branche, ayant une surface de feuilles de 120 décimètres carrés, a été disposée pour l'aspiration.

		Poids de la jauge.	Poids de la branche.
Exposition au soleil, à.	$8^{h}.55^{m}$	$541^{gr},1$	$163^{gr},1$
» à.	4.35	498,3	146,3
Temps écoulé........	7.40	—42,8	—16,8
		16,8	
Eau évaporée...		59,6	
Par décimètre carré en une heure............			$0^{gr},067$

Les feuilles étaient légèrement flétries.

II. On a fait intervenir la pression d'une colonne d'eau de $2^{m},40$.

Surface des feuilles......................... $183^{dmq},76$

		Poids de la branche.
Exposition au soleil, à..........	$8^{h}.30^{m}$	$186^{gr},8$
» à..........	4.20	166,3
Temps écoulé.................	7.50	—20,5
Il était entré dans la branche, eau..........		86,5
Eau évaporée............................		107,0
Par décimètre carré en une heure............		$0^{gr},075$

Malgré la pression, l'eau introduite n'a pas pénétré assez promptement pour subvenir à la transpiration.

Sur 107 grammes d'eau évaporée, les feuilles en avaient fourni $20^{gr},5$. Ainsi, sous l'influence d'une assez forte pression, elles n'ont pas transpiré beaucoup plus que quand l'eau était puisée dans la jauge par la simple aspiration. La différence n'a pas dépassé $\frac{1}{7}$. On a pu, d'ailleurs, se convaincre que la quantité d'eau injectée dans la branche, par l'effet de la pression, diminuait assez rapidement.

De	$8^h.30^m$	à	$9^h.30^m$	Eau injectée	$35^{cc},8$
	9.20	à	11.45	»	26,6
	11.45	à	2.20	»	14,5
	2.20	à	4.20	»	9,6
					86,5

Il avait fait très-beau; l'humidité de l'air était assez forte.

	Température de l'air.	Psychromètre.
8 heures..................	$18^o,6$	77
Midi......................	22,7	59
2 heures après-midi.........	24,9	47,5

Cinquième observation, 4 *septembre* 1867 : *Châtaignier.*

I. La branche ayant une surface de feuilles de $40^{dc},18$ a été exposée en plein soleil.

		Poids de la jauge.	Poids de la branche.
A	$11^h.54^m$	$529^{gr},15$	$158^{gr},6$
A	4.40	499,50	157,0
Temps écoulé..	4.46	—29,65	—1,6
		1,60	
Eau évaporée.....		31,25	

Par décimètre carré en une heure ...... $0^{gr},164$.

II. En faisant intervenir la pression d'une colonne d'eau de $2^m,40$.

Surface des feuilles		$90^{dc},14$
		Poids de la branche.
	h	gr
A	11.54	170,0
A	4.40	174,3
Temps écoulé	4.46	+4,3
Eau injectée dans la branche		242,8

En retranchant l'eau restée dans la branche, on a :

	gr
Eau évaporée	238,5
Par décimètre carré en une heure	0,555

L'évaporation sous l'influence de la pression a été trois fois aussi forte que sans son intervention, et l'eau injectée a suffi et au delà pour remplacer l'eau évaporée, puisque la branche en a acquis plus de 4 grammes. Le ciel, pendant l'expérience, est resté d'une grande pureté. Le vent soufflait de l'est avec assez de force, l'air était sec; aussi, dans nos cultures de betteraves, les feuilles étaient flétries. Celles de la branche du châtaignier avaient conservé leur rigidité.

	o
A $11^h 30^m$ température	25,8
» psychromètre	45,5

Sixième observation du 7 *septembre* 1867. — *Sapin.*

Suivant Hales, les arbres toujours verts transpirent bien moins que les autres; c'est à cette circonstance qu'il attribuait la résistance de certaines plantes au froid de l'hiver, parce qu' « elles n'ont besoin de ne conserver que très-peu de nourriture, à peu près comme les animaux à sang froid, qui ne transpirent pas beaucoup, peuvent passer l'hiver sans prendre d'aliments. » Aujourd'hui

cette analogie ne saurait être admise, mais il est de fait que les feuilles toujours vertes consomment moins d'eau que les autres pour maintenir leur fraîcheur; c'est très-probablement pour cette raison que les arbres verts résistent à de grandes sécheresses, soit parce que réellement les feuilles transpirent peu, soit que, comme les plantes grasses, elles accumulent dans leurs vaisseaux trachéens une réserve d'eau pendant la saison des pluies, soit simplement enfin parce que la rigidité des aiguilles dissimule la perte en eau.

La mesure de la surface des aiguilles d'une branche de sapin ne se fit pas sans difficulté. On y parvint en collant ces aiguilles sur une plaque de verre, dont on connaissait la superficie.

I. Exposition au soleil :

L'extrémité d'une branche de pin maritime fut mise dans une jauge.

La superficie des feuilles était	$40^{dq},57$
La surface double	81,14

		Poids de la jauge.	Poids de la branche.
A	$9^h.10^m$ matin	$676^{gr},6$	$253^{gr},5$
A	4 soir	664,7	249,4
Temps écoulé.	6.50	—11,9	—4,1
Eau sortie des aiguilles		4,1	
Eau évaporée		15,0	
Par décimètre carré, en une heure			$0^{gr},027$

L'eau aspirée n'a pas suffi pour remplacer l'eau éliminée par la transpiration. Les aiguilles en avaient perdu $4^{gr},1$, le tiers à peu près de la quantité évaporée en $6^h 50^m$.

II. On a fait intervenir la pression d'une colonne d'eau de $2^m,40$. La surface des aiguilles de la branche était $100^{dq},48$.

Au soleil à...	9.10 (h m)	Poids de la branche.	327,5 gr
» à...	4.00	»	319,2
Temps écoulé.	6.50	»	—8,3
Eau entrée dans la branche................			23,7
Eau évaporée..........................			32,0
Par décimètre carré d'aiguilles en une heure...			0gr,044

Sous pression, la transpiration a presque doublé. Néanmoins l'eau injectée n'a pas été suffisante pour compenser celle qui était sortie.

7 *septembre*. — Ciel découvert durant les observations; air calme et chaud :

A 3 heures, température à l'ombre.............	27°,6
» psychromètre....................	32,0

On voit combien les aiguilles de sapin ont peu transpiré nonobstant une forte chaleur et une grande sécheresse.

Septième observation, 9 *septembre* 1866. — *Maïs.*

I. Un plant a été coupé au-dessus du collet de la racine et mis dans une jauge. On a trouvé pour la surface des parties vertes :

Feuilles..............................	19,00 dq
Tige..................................	4,70
Surface totale........................	23,70

Exposition au soleil :

		Poids de la jauge.	Poids du plant.
A...........	8.50 (h m)	698,50 gr	128,0 gr
A...........	5.10	638,85	113,8
Temps écoulé.	8.20	—59,65	—14,2
		14, 2	
Eau évaporée..............		73,85	
Par décimètre carré, en une heure...........			0gr,374

L'observation a été continuée en maintenant la plante dans l'obscurité.

II. Placée dans un cellier le 9 septembre :

		Poids de la jauge.	Poids du plant.
A..........	5h 10m soir	638gr,85	113gr,8
Retirée le 10 à.	8.12	638,80	107,5
Temps écoulé.	15.02	—0,05	—6,3
		6,30	
Eau évaporée..................		6,35	

Par décimètre carré, en une heure............	0gr,02
A 7 heures du soir, température de l'air........	24°,0
Psychromètre..............................	83,0

III. La section d'un plant de maïs a été soumise à la pression d'une colonne d'eau de 2m,70.

Surface des feuilles..........................	25dq,34
Surface de la tige..........................	6,66
Surface totale......................	32,00

Exposition au soleil :

A...........	8h.50m matin.	Poids du plant.	140gr,5
A...........	5.26	»	132,8
Temps écoulé.	8.36	»	—7,7
Eau injectée dans le plan....................			221,0
Eau évaporée..............................			228,7
Par décimètre carré, en une heure.			0gr,83
A 10 heures du matin, température			22°,6
» psychromètre..........			64,0

Au soleil la transpiration a été près de trois fois aussi forte sous l'influence de la pression qu'elle l'avait été lorsque la base de la tige plongeait dans l'eau. Cependant l'eau injectée n'a pas encore suffi pour compenser la perte occa-

sionnée par l'évaporation; ces feuilles en ont perdu près de 8 grammes.

De l'ensemble de ces expériences il ressort que, si l'on plonge dans l'eau une section fraîchement pratiquée à l'extrémité d'une branche ligneuse ou d'une tige herbacée, ce liquide monte dans les feuilles où il s'évapore plus ou moins promptement suivant la nature du périsperme et les circonstances atmosphériques. L'ascension est accélérée par la pression, mais dans les deux cas, c'est-à-dire par l'aspiration déterminée uniquement par les feuilles ou par la même aspiration aidée de la pression, l'eau introduite dans la tige serait encore insuffisante pour remplacer celle que les feuilles laissent passer à l'état de vapeur au soleil et même à l'ombre; les organes verts perdant plus d'eau qu'ils n'en reçoivent. Aussi voit-on bientôt les feuilles se flétrir, se faner. Il faut le reconnaître, le phénomène de l'aspiration, par suite de la transpiration des feuilles, n'est permanent que sur une plante entière établie dans une terre suffisamment humide. Si par l'effet d'un soleil ardent, d'un vent impétueux, d'une grande sécheresse, les feuilles se flétrissent, s'inclinent vers la tige, comme cela arrive fréquemment dans les cultures pendant les fortes insolations, durant les vents chauds, cet état est passager et disparaît avec les causes qui l'ont provoqué. Ainsi, par un abaissement de température, par l'humidité de l'air ambiant, les feuilles accumulent alors dans leur parenchyme l'eau qu'elles reçoivent du sol, elles ne la dissipent plus; le matin, après une nuit fraîche succédant à une chaude journée, on les trouve généralement redressées, si le sol n'a pas subi la dessiccation; rien de semblable n'arrive aux feuilles d'une branche détachée de l'arbre, aux feuilles d'une tige herbacée : elles ne récupèrent pas la nuit l'eau perdue pendant la chaleur et la sécheresse du jour, bien que leur extrémité soit maintenue dans le liquide, d'où il faut conclure avec Hales que les racines in-

terviennent évidemment dans l'introduction de l'eau du sol dans la tige. Est-ce réellement une force d'injection ? C'est ce qui n'est peut-être pas suffisamment établi ? Est-ce par l'imbibition de l'eau venant de la terre humide, imbibition qui se continue ensuite, de proche en proche, de la racine à la tige, de la tige aux pétioles et aux feuilles ? Il en résulte néanmoins que, pour apprécier la quantité d'eau qu'une plante laisse échapper par la transpiration, il faut l'observer quand elle est dans une situation normale où tous ses organes fonctionnent : c'est ce que Hales a fait, pour l'*Helianthus*, le choux, la vigne, en faisant usage de la balance.

Toutefois cette méthode des pesées n'est pas applicable aux végétaux de grande dimension. On a vu que Hales a cherché à tourner la difficulté, en observant sur les branches détachées; mais alors on sort des conditions ordinaires, et en réalité ce que l'on constate, c'est surtout le progrès de la dessiccation des feuilles adhérentes à la branche, par la raison qu'elles ne reçoivent plus l'eau que leur amèneraient, par injection ou par imbibition, les racines et la tige. Aussi, quand Hales opéra sur une des branches isolées pour démontrer le fait de l'aspiration attribuable à la transpiration, il ne donne plus la surface des feuilles, il ne cherche plus à établir le rapport existant entre cette surface et le volume d'eau transpirée.

L'injection favorise certainement l'introduction de l'eau dans la tige et par suite dans les feuilles, suppléant ainsi, dans une certaine mesure, aux fonctions des racines. Mais on a vu aussi que la quantité d'eau introduite par ce moyen a constamment diminué, malgré la persistance de la pression, diminution que, dans les expériences décrites plus haut, on ne saurait attribuer à l'oblitération des tissus causée par des matières terreuses, puisque l'on a toujours injecté de l'eau distillée, de l'eau pure.

Les racines, la tige, les feuilles, bien que remplissant

des fonctions distinctes et en quelque sorte indépendantes, concourent simultanément à l'introduction et à la circulation de l'eau dans la plante, cela est incontestable. Les racines agissent surtout par endosmose; leur épiderme, n'ayant pas d'ouverture, de stomates, transmet l'eau aux cellules qui la font refluer vers la tige. Le tissu ligneux, par l'effet de la capillarité, par l'imbibition, dirige le liquide dans les cellules des feuilles, d'où il sort en partie par l'évaporation. C'est ainsi que l'eau du sol introduite et transformée en séve ascendante, en traversant l'organe souterrain, arrive dans le parenchyme chargée de principes fertilisants. Dans les feuilles, par le fait de leur transpiration, la séve est concentrée; les matériaux qu'elle a empruntés à la terre sont acquis à l'organisme, où, après avoir été modifiés par la lumière, ils sont répartis, distribués par la séve descendante.

Si l'eau que transpirent les feuilles était immédiatement remplacée par l'eau qu'apporteraient les racines, le phénomène de la circulation serait très-simple; mais généralement, ainsi que je crois l'avoir prouvé, pour des temps égaux il n'y a pas égalité entre la quantité de liquide introduite par les organes souterrains et les liquides dissipés par les organes aériens. Au soleil, par exemple, les feuilles perdent une fraction de leur eau de constitution, et sans aucun doute la perte serait encore plus prononcée sans l'humidité qu'elles tirent de la tige. Le tissu ligneux se comporte alors comme un réservoir, comme un régulateur ayant pour effet d'atténuer l'inégalité d'action des deux organes exerçant des fonctions opposées. La plupart des végétaux, durant les périodes de longue sécheresse, succomberaient sans cet intermédiaire; leur existence dans cette condition défavorable est d'autant plus assurée que la masse humide interposée entre les racines et les feuilles est plus grande; c'est pourquoi les arbres supportent mieux la sécheresse que les herbacées, à moins que, comme les

cactées, ces plantes ne renferment dans leur parenchyme une très-forte réserve d'eau, protégée par une cuticule peu perméable. Pour les feuilles des plantes en pleine terre, il paraît difficile de déterminer la perte en eau qu'elles subissent durant leur transpiration. Il n'y a d'indice de cette déperdition que leur changement d'aspect; elles deviennent flasques, pendantes, si elles ne sont pas suffisamment rigides.

C'est ici qu'il convient de faire remarquer que, si les feuilles d'un végétal, planté dans une terre humide, perdent pendant le jour, surtout au soleil, plus d'eau qu'il n'en vient par les racines, il en résulte qu'en évaluant la vitesse de l'ascension de la séve d'après des pesées, ainsi que l'a fait Hales dans son expérience « sur la quantité de liquide que les arbres et les plantes tirent et transpirent », on est exposé à commettre une erreur, puisque l'on suppose, ce qui n'est peut-être jamais le cas, que l'eau transpirée est immédiatement remplacée par celle de la séve ascendante. Or il est de la dernière évidence qu'une partie de cette eau transpirée, accusée par la balance, ne vient pas de traverser actuellement la tige, puisqu'elle a été fournie par les feuilles en voie de dessiccation. La perte que l'on constate provient donc à la fois des feuilles et des tiges. Elle n'exprime pas la faculté de transpiration attribuée à la feuille considérée isolément et qui dépend nécessairement de l'organisation, du nombre des stomates, de l'épaisseur du parenchyme, du plus ou moins de perméabilité de l'épiderme. On est alors conduit, pour estimer la faculté de transpiration, à observer sur des feuilles détachées de la plante; mais alors, on le conçoit, l'observation ne doit pas être prolongée, parce que la feuille abandonnera son eau de constitution d'autant plus lentement à mesure qu'elle en contiendra moins par l'effet de l'évaporation.

§ II.

TRANSPIRATION DES FEUILLES AU SOLEIL ET A L'OMBRE.

Si l'on touche une feuille suffisamment rigide attenant à une plante, par exemple à la vigne, on éprouve une sensation de fraîcheur; alors même qu'elle est en plein soleil, sa température est inférieure à celle de la main; maintenant, qu'on en brise le pétiole, de manière qu'elle ne soit plus suspendue que par quelques filaments, son épiderme deviendra chaud au toucher.

Il est facile d'expliquer cette différence de température.

Si une feuille ne s'échauffe pas sensiblement au soleil, tant qu'elle est en communication avec la plante, c'est qu'elle reçoit incessamment de la séve aqueuse venant du sol humide: l'évaporation accomplie à sa surface contribue d'ailleurs à en maintenir la fraîcheur; mais, aussitôt la rupture du pétiole, la feuille s'échauffe immédiatement et cela par deux raisons : la séve ne parvient plus dans ce parenchyme, et l'évaporation devient moindre à la surface du limbe : aussi la feuille commence-t-elle à se faner; toutefois l'effet n'est pas instantané. La feuille ne meurt pas aussitôt qu'elle cesse d'être en communication avec le végétal : l'eau dont elle est pénétrée continue à s'évaporer, et il y a tout lieu de croire que pendant un temps limité, il est vrai, elle transpire comme si elle était fixée à la tige; si donc on pesait une feuille, aussitôt après l'avoir détachée, et qu'ensuite on la fixât sur la branche à la place qu'elle occupait, elle continuerait à transpirer, et si, après une courte exposition, on la pesait de nouveau, la différence de poids indiquerait l'eau perdue dans l'intervalle des deux pesées. L'exactitude reposerait sur la rapidité des opérations. Quelle que soit l'habileté de l'observateur, une pesée faite à une balance de précision exige du temps, surtout quand il s'agit d'accuser des différences de quelques milligrammes.

Il y a plus, une feuille qui aura été placée au soleil éprouvera, pendant le transport sur le plateau de la balance, une perte qui, pour des temps égaux, ne sera pas ce qu'elle avait été durant son exposition, par la raison qu'elle continue à transpirer. L'observation deviendrait alors impossible, parce que les corrections, si l'on voulait en introduire, approcheraient et dépasseraient même quelquefois la différence de poids qu'il s'agirait de constater. Heureusement qu'une feuille, quand on vient de la cueillir, garde pendant quelques instants un poids à peu près invariable, lorsqu'elle est immédiatement enfermée dans une atmosphère très-limitée. Dans cette condition, la feuille placée sur la balance a, par conséquent, le poids qu'elle avait sur la tige. C'est ainsi que l'on a procédé. Aussitôt détachée, on enfermait la feuille dans une boîte plate en étain, très-légère, fermant en tabatière; une fois pesée, on la remettait dans la boîte pour la reporter sur la plante où on la fixait, par son pétiole, au moyen d'une pince à ressort à la même place où on l'avait prise. On notait l'heure au commencement et à la fin de l'exposition. Ensuite, après la deuxième pesée, on mesurait la surface de la feuille.

Cette méthode des pesées rapides n'a sans doute rien de neuf, on a dû l'employer en Physiologie : elle donne, je crois, des résultats d'une exactitude suffisante.

Après avoir consulté le chronomètre, le thermomètre, le psychromètre, on connaissait :

1° La durée de l'exposition de la feuille;

2° La température et l'état hygrométrique de l'air;

3° La superficie de la feuille.

Les feuilles, aussitôt détachées du plant, n'étaient restées exposées au soleil ou à l'ombre que durant peu de temps, si ce n'est pendant la nuit, alors que l'évaporation est extrêmement faible; c'est seulement en procédant de la sorte qu'il est permis d'admettre qu'une feuille libre, exposée à

l'air, émet à très-peu près la quantité de vapeur qu'elle eût émise dans le même espace de temps, si elle était restée sur la branche.

Je rapporterai maintenant, comme exemple, une série d'observations faites sur des feuilles de vigne, prélevées sur le même cep.

I. 18 mai 1866, 3 feuilles :

		Poids des feuilles.	Surface.
		gr	cq
Au soleil, à...	$12^h 32^m$	11,76	579,2
» à...	$12^h 50$	10,75	
Temps écoulé.	$0^h 18$ Eau évaporée.	1,01	
Par décimètre carré en une heure..............			$0^{gr}58$

Température 20°,3, psychromètre 45°,5, vent d'ouest.

II. Observations pendant la nuit :

		Poids des feuilles.	Surface.
		gr	cq
23 mai à.....	$7^h 00^m$ soir	4,44	444,9
24 mai à.....	$5^h 30$ matin	4,31	
Temps écoulé.	$10^h 30$ Eau évaporée.	0,13	
Par décimètre carré en une heure...........			$0^{gr},003$

Température 15°, psychromètre 80°, ciel couvert, vent d'ouest.

III. 31 mai :

		Poids de la feuille.	Surface.
		gr	cq
A............	$5^h 45^m$ matin	3,220	568,8
A............	$6^h 15$	2,945	
Temps écoulé.	$0^h 30$ Eau évaporée.	0,275	
Par décimètre carré, en une heure............			$0^{gr},205$

Température 17°,4, psychromètre 66°, ciel nuageux, air calme.

IV. 31 mai :

		Poids de la feuille.	Surface.
		gr	cq
Au soleil......	9h 10	4,320	243,8
»	9h 37	4,100	
Temps écoulé..	0h 27 Eau évaporée.	0,220	

Par décimètre carré en une heure............ 0gr,205

Température 20°,6, psychromètre 53°, air calme.

V. 31 mai :

Au soleil...........................				11h.42
»				12. 7 soir.
Temps écoulé........................				0.25
Poids de la feuille.......	4gr,350		Surface..	333cq,8
»	3,730			
Eau évaporée...........	0,220			

Par décimètre carré en une heure............ 0gr,445

Température 22°,4, psychromètre 56 degrés, ciel pur, vent d'ouest très-fort.

VI. 31 mai :

A l'ombre..........................				3h.00m
»				3.20
Temps écoulé........................				0.20
Poids de la feuille.......	4gr,560		Surface..	429cq,8
»	4,330			
Eau évaporée...........	0,230			

Par décimètre carré en une heure............ 0 ,153

Température, 25°,0, psychomètre 56 degrés, ciel couvert, calme.

VII. 31 mai :

A..................................	5h.54m
»	6.10
Temps écoulé........................	0.16

Poids de la feuille.......	4,520 gr	Surface..	330cq,4
»	4,420		
Eau évaporée...........	0,100		
Par décimètre carré en une heure.............			0,113

Température 19°,1, psychromètre 69°, ciel nuageux, calme.

Observation faite pendant la nuit :

1er juin, soir........................	6h.00m
2 juin, matin........................	6.00
Temps écoulé........................	12.00

Poids de la feuille.......	4,420 gr	Surface..	330cq.
»	4,200		
Eau évaporée...........	0,220		
Par décimètre carré en une heure.............			0,006

Température 13°,4, psychomètre 84 degrés.

2 juin, à l'ombre :

A................................	7h.30m matin
»	9.20
Temps écoulé....................	1.50

Poids de la feuille.......	5,490 gr	Surface..	435cq,8
»	4,950		
Eau évaporée...........	0,540		
Par décimètre carré en une heure.............			0,067

Température 14°1, psychromètre 89 degrés, vent nord-ouest.

Observations faites pendant la nuit :

9 juin............................	7h.00m soir.
10 juin...........................	5.45 matin.
Temps écoulé......	10.45

Poids de la feuille.......	3,930	Surface..	312^{cq}
»	3,610		
Eau évaporée...........	0,320		
Par décimètre carré en une heure.............			0,010

Température 14°,8, psychromètre 76 degrés.

20 juin, au soleil.........................	8^{h}.45^{m}
»	9.12
Temps écoulé.........................	0.27

Poids de la feuille.......	5^{gr},050	Surface..	331^{cq},9
»	4,550		
Eau évaporée...........	0,500		
Par décimètre carré en une heure.............			0,328

Température 18°,6, psychromètre 56 degrés, ciel pur, vent d'est faible.

20 juin, au soleil :

» A....................	11^{h}.30^{m}
» A....................	11.45
Temps écoulé.........................	0.15

Poids de la feuille.......	5^{gr},750	Surface..	263^{cq},0
»	5,300		
Eau évaporée...........	0,450		
Par décimètre carré en une heure.............			0,684

Température 20°,2, psychromètre 47°, ciel pur, vent d'est très-fort.

20 juin, au soleil.........................	4^{h}.15^{m}
»	5.05
Temps écoulé.........................	0.50

Poids de la feuille.......	4^{gr},900	Surface..	240^{cq}.
»	4,520		
Eau évaporée...........	0,380		

Par décimètre carré en une heure............. 0,190

Température 22°,8, psychromètre 63°, vent N.-E. assez fort.

20 juin à l'ombre........................ 9.15 (h m)
» 9.30

Temps écoulé........................ 0.15

Poids de la feuille....... 5,270 gr Surface.. 332cq,4
» 5,520

Eau évaporée.......... 0,200

Par décimètre carré en une heure............. 0,240

Température 18°,6, psychromètre 80 degrés.

21 juin, au soleil...................... 11.33 (h m)
» 11,50

Temps écoulé........................ 0,17

Poids de la feuille...... 5,990 gr Surface.. 332cq,5
» 5,690

Eau évaporée........... 0,300

Par décimètre carré en une heure............ 0gr,318

21 juin, au lever du soleil :

» A.................... 5.52 (m)
» A.................... 6.08

Temps écoulé........................ 0.16

Poids de la feuille....... 5,520 gr Surface.. 276cq,8
» 5,230

Eau évaporée........... 0,290

Par décimètre carré en une heure............. 0,393

22 juin à l'ombre, pendant la pluie, le cep étant sous un abri :

Matin............................ 7.30 (h m)
Midi............................ 12.48 soir.

5.18

Poids de la feuille.......	5gr,410	Surface..	292cq,1
»	5,330		
Eau évaporée...........	0,080		
Par décimètre carré en une heure............			0,005

Température 13°,7; psychromètre 100, vent d'ouest très-fort.

Observation faite pendant la nuit:

22 juin..............................	8h.45m soir.
23 juin..............................	5.55 matin.
Temps écoulé........................	9.10

Poids de la feuille.......	5gr,540	Surface..	298cq,8
»	5,450		
Eau évaporée..........	0,090		
Par décimètre carré en une heure............			0,003

Température 14°,0, psychromètre 80 degrés, vent sud-ouest très-fort.

A partir du 22 juin 1866, le vent souffla du sud-ouest; sa force augmenta graduellement; le 26, c'était un ouragan, des arbres furent déracinés, brisés. Les feuilles desséchées pendaient sur la branche; les plantes herbacées souffrirent encore davantage. Les feuilles des topinambours, de betteraves, étaient flétries. Seule, la vigne avait résisté. Cette circonstance d'une sécheresse aussi intense donna lieu à une observation intéressante: plusieurs feuilles séparées du cep furent fixées sur la tige au moyen d'une pince. En moins d'une heure, elles devinrent tellement sèches que l'on pouvait les pulvériser en les froissant dans la main, tandis que les feuilles attachées au cep conservèrent leur *souplesse, leur fraîcheur;* on peut dès lors juger de la quantité d'eau qu'elles recevaient du sol, pour être maintenues en cet état.

Le 26 juin, à 2 heures :

Température à l'ombre pendant l'ouragan... 20°,4
Psychromètre........................... 39,0

L'air était très-sec sans doute, mais c'est surtout à la rapidité de son renouvellement, à la force du vent, qu'il faut attribuer la grande dessiccation éprouvée par les feuilles, lorsque la séve n'arrivait pas assez rapidement dans la plante pour remplacer l'eau évaporée.

Résumé des observations faites sur la transpiration des feuilles de la vigne.

Dates et heures.		Eau transpirée par décimètre carré en 1 heure.	Température.	Psychromètre.	Remarques.
Au soleil :					
18 mai 1865,	midi......	0,580	20°,3	45°,5	Vent d'ouest.
31 »	6h matin...	0,205	17,4	66,0	Calme.
31 »	9h matin...	0,200	20,6	53,0	Calme.
31 »	midi	0,446	22,4	56	Vent d'O. très-fort.
20 juin,	5h matin...	0,180	14,8	76	Calme.
20 »	9h matin...	0,328	18,6	56	Vent d'est faible.
20 »	midi......	0,684	20,2	47	Vent d'est t.-fort.
20 »	4h soir.....	0,190	22,8	63	Vent N.-E.
21 »	midi......	0,383	20,2	50	Vent N.-E. fort.
22 »	6h matin...	0,393	22,8	46	Vent N.-E. fort.
A l'ombre :					
31 mai	3h soir.....	0,153	25,1	56	Calme.
31 »	6h soir.....	0,113	19,1	69	Ciel nuageux, calme.
2 juin	8h matin...	0,007	14,1	89	Vent N.-O.
20 »	9h matin...	0,240	18,6	80	Vent E. faible.
22 »	10h matin...	0,005	13,7	100	Vent d'O., pluie.
Pendant la nuit :					
23 mai,	»	0,003	15,0	80	Ciel couv., v. d'O.
31 »	»	0,006	13,4	84	Vent N.-O.
9 juin,	»	0,009	18,4	73	Vent N.-O. fort.
22 »	»	0,003	14,0	80	Vent S.-O. fort.

Je mets à la suite de ce tableau quelques observations faites sur des feuilles cueillies sur la même vigne, l'année 1868.

Dates et heures des observations.	Eau transpirée par décimètre carré des feuilles en 1 heure.	Température.	Psychromètre.	Remarques.
		°	°	
21 juillet, 2^h à l'ombre....	0,14	18,3	57	
3^h à l'ombre....	0,27	20,0	45	
27 juillet, 10^h à l'ombre...	0,11	15,6	66	Ciel couvert.
30 » 1^h à l'ombre....	0,09	15,7	73	»
31 » 7^h mat. à l'ombre.	0,06	13,0	81	»
2 août, 6^h mat. à l'ombre.	0,01	11,0	96	»
» midi au soleil.....	0,34	12,0	90	
5 août, 7^h mat. au soleil..	0,21	13,4	89	Vent d'O., ciel nuag.
» 7^h mat. à l'ombre..	0,09	13,4	89	» »
» 8^h soir au soleil...	0,57	14,3	75	
» 2^h soir à l'ombre..	0,13	14,3	75	
» 5^h soir à l'ombre..	0,08	12,0	90	
4 sept., 10^h mat. à l'ombre.	0,12	18,6	79	
» 10^h mat. à l'ombre.	0,12	18,6	79	

Comme moyenne on a pour l'eau transpirée par 1 décimètre carré de feuilles de vigne du même cep :

	gr
Par 15 observations au soleil.......	0,3554
Par 15 observations à l'ombre......	0,1119
Par 4 observations pendant la nuit..	0,0052

Transpiration des feuilles de houblon.

I. Sur la limite d'une houblonnière établie au bord de la Saüer, au pied du Liebfrauenberg, on a coupé, à la base, deux tiges enroulées sur la même perche. Leurs extrémités furent introduites dans l'eau d'une jauge, le 30 juin 1869.

	h m		cc
Exposé à.....	9.10 matin.	Eau dans la jauge.	2000
Retiré à.....	3.58 soir.	»	1615
Temps écoulé.	6.48	Eau disparue....	385

Température.. 25°
Psychromètre.. 60
Air calme.

La surface des feuilles (les deux côtés du limbe) étant de $2^{mc},92$, on trouve pour l'eau transpirée par décimètre carré, en une heure, $0^{gr},27$.

Le ciel était sans nuages, mais on remarquera que, sur un pied touffu de houblon, la plus grande partie des feuilles, ne recevant pas directement la lumière du soleil, fonctionnent, en réalité, à l'ombre.

II. Dans l'intérieur de la houblonnière, on a coupé deux tiges enroulées à la même perche. Les sections des tiges ont été placées dans une jauge le 1er juillet 1869.

Surfaces des feuilles.......................... $3^{mq},2$

Exposé à.....	$9^h.17^m$ matin.	Eau dans la jauge.	2000^{cc}
Retiré à.....	5.14 soir.	»	1590
Temps écoulé.	7.57	Eau disparue....	410

Eau transpirée par décimètre carré en une heure. $0^{gr},171$

Température........................... $20^{o},5$
Psychromètre.......................... 62,0
Air calme.

III. Les observations ont été reprises lors de la cueillette des cônes, en septembre.

Les extrémités inférieures de deux tiges ont été plongées dans la jauge :

Le 19 à......	$1^h.44^m$	Eau dans la jauge.	1000^{cc}
» à	5.14	»	389
Temps écoulé.	3.30	Eau disparue....	611

Température........................... $14^{o},3$
Psychromètre.......................... 60,0
Calme.

Poids des feuilles........................ 840^{gr}
» des cônes........................ 770
» des tiges........................ 737

La surface des feuilles et des tiges était de 9^{mq},52. Il n'a pas été possible d'évaluer celle des cônes.

On trouve pour l'eau transpirée par décimètre carré, en une heure. . . . . 0^{gr}, 183

Ces observations donnent bien le poids de l'eau ayant pénétré dans la tige, mais elles n'indiquent pas celui que les feuilles ont perdu; il est vraisemblable qu'elles en ont réellement laissé échapper plus qu'elles n'en ont reçu de la jauge. Quant à l'eau évaporée à la surface, seule la balance pouvait permettre d'en fixer la quantité éliminée au soleil, puisque dans une houblonnière les plants sont généralement à l'ombre.

IV. 27 septembre, au soleil : à.			$11^{h}.06^{m}$
» à.			11.36
Temps écoulé.			0.30
Poids de la feuille.	$1^{gr},81$	Surface.	170^{cq}
»	1,47		
Eau évaporée.	0,34		
Par décimètre carré, en une heure.			0^{gr},382
27 septembre, à l'ombre, à.			$11^{h}.10^{m}$
» » à.			11.40
Temps écoulé.			0.30
Poids de la feuille.	$1^{gr}.50$	Surface.	$122,5^{cq}$
»	1.35		
Eau évaporée.	0.15		
Par décimètre carré, en une heure.			$0^{gr},24$
A 11 heures, température.			$20^{o},8$
psychromètre.			68,0

Les feuilles détachées des tiges dépensent donc par la transpiration beaucoup plus d'eau qu'il n'en monte par l'aspiration. Il est vrai que dans la houblonnière elles ne sont pas dans des conditions aussi favorables à l'évapora-

tion. Néanmoins la perte pourrait être assez forte pour affecter leur fraîcheur, si durant l'obscurité, alors que la transpiration est à peu près nulle, la plante n'accumulait pas l'eau que les feuilles émettent pendant le jour.

Cherchons maintenant à évaluer ce que transpirait une vigne du Liebfrauenberg, durant les mois de juin, juillet et août, alors que les ceps étaient en pleine vigueur. Les feuilles sur lesquelles ont porté les expériences dont les résultats ont été consignés avaient été recueillies sur une treille en plein vent, dirigée de l'est à l'ouest, d'une longueur de 38 mètres sur une hauteur de 1 mètre, présentant par conséquent au midi une surface de 38 mètres carrés. Par des mesures prises sur plusieurs points, on a trouvé que les feuilles garnissant un espace de 1 mètre carré offraient une surface simple de $1^{mq},76$, soit pour les deux faces du limbe $3^{mq},52$. La surface évaporatoire de la treille était par conséquent de 134 mètres carrés.

A l'époque des observations :

La durée du jour était de................	15 heures.
La durée de la nuit de..................	14 »

Les feuilles d'une vigne, même par un ciel découvert, ne sont jamais, toutes à la fois, exposées au soleil. Il en est une notable partie placée à l'ombre. On peut, je crois, supposer que, dans le cas le plus général, la moitié au moins n'est pas éclairée par la lumière directe, d'où il résulterait que la transpiration de 1 mètre carré de feuilles en une heure, dans la journée, irait au plus à $23^{gr},4$ d'eau.

A l'obscurité, l'eau transpirée en une heure par mètre carré n'a pas dépassé $0^{gr},5$. Les surfaces totales des feuilles de la treille étant de 134 mètres carrés, on aurait pour la quantité d'eau évaporée en vingt-quatre heures :

En 15^{h} de jour..........................	$47^{kg},03$
En 14 de nuit..........................	0,97
En 24	48,00

La treille en plein vent laisserait donc sortir 48 kilogrammes en vingt-quatre heures, un jour de soleil. Par un temps couvert la transpiration n'irait pas au delà :

	kg
Pendant le jour, de	22,61
Pendant la nuit, de	0,97
	23,58

Transpiration des feuilles de betterave dite Globe jaune.

Je résumerai les observations faites le 18 juillet 1866 :

	h m	Poids de la feuille. gr	Surface. cq
I. Au Soleil à	10.45	8,00	188,8
»	11.00	7,78	
II. A l'ombre	5.22	10,27	386,5
»	5.55	9,90	
III. La nuit	7.30	7,17	238,4
19 juillet	5.55	6,00	

	Eau évaporée déduite des pesées. gr	Eau transpirée par décimètre carré en une heure. gr	Thermomètre. o	Psychromètre. o
I. Au Soleil	0.22	0,466	31,8	33
II. A l'ombre	0.37	0,174	31,0	43
III. Nuit	1.17	0,050	18,2	86

Il peut être curieux de rechercher l'eau renfermée dans l'organisme des plants de betteraves occupant un hectare à l'époque de l'arrachage.

Dans le globe jaune on a dosé :

	Dans 100 de racines.	Dans 100 de feuilles.
Matière sèche	12.2	11.2
Eau	87.8	88.8
	100.0	100.0

Le 15 septembre, sur 1 hectare emblavé, on a compté 18 224 plants.

Par diverses pesées, on a trouvé dans un plant :

Racines....	1500gr		
Feuilles...	640	Surface...	1mq,93

La totalité des plants sur 1 hectare pesaient...			39000kg
Ayant : racines..	27300kg	renfermant eau...	23969
» feuilles...	11700	» »	10389
Eau engagée dans les plants d'un hectare.....			34358

La surface double de feuilles d'un plant moyen serait, d'après le poids, 2 mètres carrés.

Surface rapportée à l'hectare, 36 000 mètres carrés environ.

En adoptant pour l'eau transpirée par mètre carré de feuilles en 1 heure la moyenne des observations, 23 grammes, soit par 24 heures 552 grammes, on aurait pour l'eau que pourront transpirer en un jour les 36 000 mètres carrés de feuilles à l'époque de leur plus grand développement, 20 000 kilogrammes. Ce chiffre est sans doute beaucoup trop élevé, par la raison que les jours pluvieux, par un temps couvert, la transpiration est certainement inférieure à celle déduite de quelques expériences, mais il établit, et c'est là le point intéressant, que la masse de l'organisme contiendrait, et bien au delà, l'eau que la transpiration pourrait dissiper en vingt-quatre heures.

L'eau entrant dans la constitution des plants de betteraves a évidemment pour origine le sol d'où elle a été amenée surtout par la transpiration des feuilles. On ne se fait pas généralement une idée de l'énorme volume de liquide séquestré par certaines cultures. Pour fournir l'eau indispensable à la végétation, la terre doit donc en renfermer des quantités considérables. Hales a posé et résolu la question par des moyens bien simples ; je le citerai textuellement : « afin de voir combien la terre contient d'humidité,

et pour jauger les réservoirs de la nature contre la sécheresse de l'été et les provisions qu'elle a mises dans le sein de la terre pour fournir à la grande dépense qu'elle est obligée de faire pour la production et l'entretien des végétaux » ([1]).

Le 31 juillet, Hales fit enlever successivement, à partir de la surface, dans le sens vertical, 3 pieds cubiques de terre, qu'il exposa à l'air jusqu'à ce que cette terre devînt poudreuse et assez sèche pour être impropre à la végétation.

	liv onces		liv onces
Le 1er pied cubique a pesé...	104.4 1/3	perdit en séchant...	6.11
Le 2e » » ...	106.6 1/2	» » ...	10.0
Le 3e » » ...	111. 1/3	» » ...	8.8

D'après ces pesées on aurait, à partir de la superficie du terrain, jusqu'à la profondeur :

		kg
De 0m,3	pour l'eau d'un mètre cube de terre...	103
De 0m,3 à 0m,6	» » ...	166
De 0m,6 à 0m,9	» » ...	136

Admettant pour l'hectare 9000 mètres cubes de terre attaquable par la charrue, en y comprenant le sous-sol, il se trouverait dans le sol, en juillet, 1215 mètres cubes d'eau, et, en prenant pour le mètre cube de terre 1300 kilogrammes, on arriverait à une teneur en eau libre de 8 à 13 pour 100.

Des pesées faites en Alsace ont donné au printemps 12 pour 100 d'eau, dans la terre légère et fertile du Liebfrauenberg. Il s'agit ici d'une terre ameublie et fort éloignée du maximum d'imbibition, cas dans lequel les terres arables se chargent de très-fortes quantités d'eau, surtout quand elles sont riches en humus; il en est, par exemple, qui en retiennent jusqu'à 50 pour 100. Cette eau libre, évaluée

([1]) Hales, *Statique;* traduction, p. 40.
([2]) Le pied cube anglais égale 28dq, 36.

par Hales, concourt à la végétation, parce qu'elle n'est pas engagée dans une combinaison minérale : c'est pour les plantes une réserve d'autant plus assurée que le terrain a plus de profondeur. C'est ainsi que l'humidité du sous-sol, et des zones mêmes qui lui sont inférieures, s'élevant par imbibition, par capillarité, abreuve la superficie de la terre et préserve les cultures des extrêmes sécheresses. Il y a plus, dans un sol ameubli, par l'effet du refroidissement nocturne, la vapeur émise par les couches sous-jacentes se condense sur les racines dans des limites très-restreintes sans doute, et les mouille à la manière de la rosée.

Transpiration des feuilles de châtaignier.

Surface 207 centimètres carrés.

			Poids de la feuille.
	h m		gr
I. 31 août 1867, soleil à...	9.34	matin	1,68
» à...	10.34		1,52
Temps écoulé.......... ..	1.0	Eau évaporée	0,16
II. A l'ombre à...........	9.30		1,73
» à..........	10.30		1,65
	1.00		0,08

Eau transpirée par décimètre carré en une heure.

I. 0,08 II. 0,04	Température 20 degrés, psychromètre 60 degrés, ciel très-nuageux, air calme.

Deux observations faites au commencement d'août, sur des feuilles attenant à une branche, donnèrent pour l'eau transpirée par décimètre carré en une heure :

I. Au Soleil... 0,55 II. A l'ombre.. 0,16	Température 26 degrés, psychromètre 45 degrés, vent d'est assez fort.

A la fin d'août on abattit un châtaignier âgé de 35 ans. On profita de cette circonstance pour mesurer la surface des feuilles, qu'on trouva de 130 mètres carrés sur un côté du limbe, soit 260 mètres carrés pour la superficie totale (¹).

Le châtaignier avait commencé à verdir le 1er avril, il fut abattu le 31 août. Les feuilles que l'on avait comptées et mesurées s'étaient développées en cinq mois ou 152 jours; leur développement en surface simple avait donc été en moyenne par vingt-quatre heures de $\frac{130^{mq}}{122} = 0^{mq},855$.

La majeure partie des feuilles sur un arbre aussi touffu sont presque toutes à l'ombre; dans cette condition, l'évaporation étant de 10 grammes d'eau par mètre carré en une heure, on aurait pour la transpiration de l'arbre en $10^h 45^m$

(¹) Pour mesurer les feuilles on les divisa en huit catégories ayant à peu près la même surface.

Le nombre était 19 252, pesant ensemble 22 825 grammes.

Les surfaces du limbe étaient :

	mc
Première catégorie	4,72
Deuxième catégorie	24,01
Troisième catégorie	4,15
Quatrième catégorie	4,65
Cinquième catégorie	28,25
Sixième catégorie	20,74
Septième catégorie	24,93
Huitième catégorie	18,92
Surface totale	130,37

Pour le poids moyen de chaque feuille, on a $\frac{22825}{19252} = 1^{gr},1337$.

Pour le poids des feuilles développées en vingt-quatre heures,

$$\frac{22825}{152} = 150^{gr},165.$$

Pour le poids du mètre carré de feuilles, $\frac{22825}{130} = 174^{gr},81$.

Poids à très-peu près égal à celui des feuilles isolées sur lesquelles on fait les expériences sur la transpiration. Les feuilles pesaient, en effet, de $1^{gr},68$ à $1^{gr},73$ par décimètre carré.

de jour, 5 octobre, 107gr,5 par mètre carré, et en prenant pour surface les deux côtés du limbe, 260 mètres, 28 litres d'eau. Ce serait là un minimum, puisqu'il est des feuilles qui ne sont pas à l'ombre.

On a réuni en un tableau l'ensemble des observations sur la déperdition d'eau éprouvée par les feuilles exposées à l'air. La transpiration est rapportée à ce qu'elle aurait été pendant une heure pour une surface de 1 décimètre carré au soleil, à l'ombre, à l'obscurité; on s'est borné à en présenter un résumé dans lequel on n'a pas cru devoir introduire les résultats fournis par les branches feuillues, ces observations, dans ce cas, ayant été trop prolongées. Pour faire ressortir l'importance des expériences exécutées à la lumière diffuse, je répéterai qu'à un instant quelconque de la journée, même par un ciel sans nuage, les feuilles d'une plante herbacée, et à plus forte raison les feuilles d'un arbre, ne sont jamais toutes à la fois éclairées directement par les rayons solaires. Aussi, comme mon père l'a dit dans un de ses Mémoires, partout, dans les forêts, c'est surtout à l'ombre que s'accomplissent les phénomènes de la vie végétale; sous l'équateur, par exemple, il n'y a réellement que les feuilles rigides et redressées qui, à certains moments de la journée, reçoivent le soleil sur toute leur surface.

Transpiration des feuilles, par heure, pour une surface de 1 décimètre carré. (Moyennes.)

Noms des plantes.	Exposition.	Eau transpirée.	Thermomètre à l'ombre.	Psychromètre.
		gr	°	°
Topinambour.	Soleil.	0,70	25	42
» .	Ombre.	0,16	20	58
» .	Jour et nuit.	0,32	22	60
» .	Nuit.	0,05	17	71
Vigne.......	Soleil.	0,36	19	60
»	Nuit.	0,005	15	77

Noms des plantes.	Exposition.	Eau transpirée.	Thermomètre à l'ombre.	Psychromètre.
		gr	o	o
Houblon	Soleil.	0,38	21	68
»	Ombre.	0,22	17	71
Châtaignier . . .	Soleil.	0,31	26	45
» . . .	Ombre.	0,10	22	60
Marronnier. . .	Soleil.	0,54	26	46
» . . .	Ombre.	0,08	22	67
Polonia	Soleil.	0,22	23	84
»	Ombre.	0,08	23	84
Catalpa	Soleil.	0,21	24	47
»	Ombre.	0,09	18	68
Mûrier blanc. .	Soleil.	0,52	19	78
» . .	Ombre.	0,08	19	78
Platane	Ombre.	0,10	18	59
Chêne	Ombre.	0,10	23	64
Noyer	Ombre.	0,05	21	80
Poirier	Soleil.	0,29	26	79
Pommier	Ombre.	0,09	24	75
Pêcher	Ombre.	0,13	23	77
Sapin	Ombre.	0,14	25	48
Oranger	Soleil.	0,15	22	59
»	Ombre.	0,08	24	76
Laurier-cerise.	Soleil.	0,24	26	65
» .	Nuit.	0,01	20	78
Laurier-rose . .	Soleil.	0,30	22	60
» . .	Ombre.	0,12	22	60
Laurier-sauce.	Soleil.	0,06	22	48
» .	Ombre.	0,02	18	85
Lilas	Soleil.	0,34	20	65
»	Ombre.	0,13	20	65
Houx (jeune).	Soleil.	0,30	17	56
Houx	Ombre.	0,08	13	57
Framboisier . .	Ombre.	0,13	19	80
Lierre	Soleil.	0,05	8	78
»	Ombre.	0,025	15	84
»	Nuit.	0,00	12	90

Noms des plantes.	Exposition.	Eau transpirée.	Thermomètre à l'ombre.	Psychromètre.
		gr	o	o
Hortensia....	Ombre.	0,10	26	76
Asclepiada...	Ombre.	0,25	21	59
Cactus op....	Soleil.	0,49	22	48
»	Ombre.	0,05	17	94
Agave.......	Soleil.	0,20	21	49
»	Ombre	0,07	21	49
Betterave.....	Ombre.	0,19	31	43
»	Nuit.	0,05	18	86
Menthe......	Ombre.	0,25	22	33
»	Nuit.	0,04	13	78
Boussingaultia.	Soleil.	0,70	27	35
» .	Ombre.	0,20	25	50
Oignon......	Soleil.	0,48	21	72
»	Ombre.	0,04	21	72
Pervenche...	Soleil.	0,39	26	56
»	Ombre.	0,29	23	84
Tabac.......	Ombre.	0,17	20	75
Convolvulus..	Ombre.	0,22	22	58
Haricot nain..	Ombre.	0,14	22	63
Maïs........	Soleil.	0,31	21	59
»	Ombre.	0,09	15	60
»	Nuit.	0,02	8	61
Avoine......	Soleil.	0,26	27	46
»	Ombre.	0,12	27	46
»	Nuit.	0,06	21	54
Concombre...	Soleil.	0,74	26	40
» ...	Ombre.	0,45	26	40
» ...	Nuit.	0,01	20	88
Choux.......	Ombre.	0,25	24	81
Colrave......	Ombre.	0,27	24	81

L'intensité de la transpiration varie naturellement suivant la proportion d'eau contenue dans les feuilles, proportion qui est loin d'être la même dans le courant de la journée; elle change d'après la température, l'état hygro-

métrique, le calme ou l'agitation de l'atmosphère. Voici les différences qu'on a constatées lorsque les observations ont été assez nombreuses.

La variation dans le poids de l'eau transpirée en une heure, pour une surface de feuille de 1 décimètre carré, a été :

Noms des plantes.	Exposition.	Eau transpirée.
		gr gr
Topinambour	Au soleil.	De 1,12 à 0,23
»	A l'ombre.	De 0,16 à 0,04
Vigne	Au soleil.	De 0,68 à 0,18
»	A l'ombre (¹).	De 0,27 à 0,06
Marronnier......	Au soleil.	De 0,64 à 0,33
»	A l'ombre.	De 0,30 à 0,11
Platane	Au soleil.	De 0,14 à 0,07
Laurier-cerise....	Au soleil.	De 0,30 à 0,20
»	A l'ombre.	De 0,10 à 0,05
Menthe	Au soleil.	De 0,82 à 0,33
Maïs............	Au soleil.	De 0,40 à 0,24
»	A l'ombre.	De 0,11 à 0,07
Châtaignier......	A l'ombre.	De 0,10 à 0,09
Lilas	A l'ombre.	De 0,16 à 0,10
Mûrier blanc.....	A l'ombre.	De 0,08 à 0,05
Chêne	A l'ombre.	De 0,06 à 0,13
Oranger.........	A l'ombre.	De 0,09 à 0,15
Catalpa	A l'ombre.	De 0,04 à 0,10
Boussingaultia....	A l'ombre.	De 0,12 à 0,09
Pervenche.......	A l'ombre.	De 0,29 à 0,39
Concombre......	A l'ombre.	De 0,37 à 0,52

Je placerai ici des observations de M. Risler, sur quelques-unes des feuilles figurant dans le tableau ci-dessus. Les différences sont quelquefois assez prononcées, ce qui tient

(¹) En ne faisant pas entrer dans la moyenne deux observations faites le 21 juin et le 2 août, la première pendant qu'il pleuvait, l'appareil étant à l'abri de la pluie; la seconde par un temps très-humide, le psychromètre marquait 100 degrés.

vraisemblablement à ce que les résultats ont été obtenus par un autre procédé et dans d'autres conditions météorologiques (¹).

Eau transpirée par heure et par décimètre carré de surface foliaire.

	gr		gr
Choux..........	0,25	A.........	0,90
Pommier........	0,23		
Maïs...........	0,16		
Avoine.........	0,14	A.........	0,50
Vigne..........	0,12		
Chêne..........	0,06		
Sapin..........	0,05		

Les feuilles exposées à l'air, par cela même qu'elles ne reçoivent plus de séve ascendante en quantité suffisante, perdent plus ou moins de leur consistance; l'effet produit est d'ailleurs différent, suivant les espèces végétales. Ainsi les feuilles de la vigne, du platane dont l'eau de constitution est de 66 pour 100, en perdant $\frac{12}{100}$ de leur poids, ne changent pas visiblement d'apparence. Il n'en est plus de même pour des feuilles moins rigides; une perte de $\frac{16}{100}$ devient manifeste par un commencement de flétrissure, elles se fanent. C'est ce qu'on observe non-seulement sur les herbacées, mais sur les feuilles des arbres, tels que le catalpa, le polonia; la flétrissure cesse aussitôt que la séve vient à affluer.

La transpiration à l'ombre est, comme on l'a vu, bien moins prononcée qu'au soleil. J'ajouterai que pendant les premiers moments elle paraît être proportionnelle à la durée de l'exposition : c'est du moins ce que semblent établir des expériences faites le 16 septembre 1867 sur une feuille de Polonia; détachée de l'arbre à 9 heures du

(¹) Risler, *Sur l'évaporation du sol et des plantes*, 1871

matin, elle pesait $2^{gr},29$. Après l'observation, par une dessiccation opérée à l'étuve chauffée à 100 degrés, elle a laissé $0^{gr},695$ de matières fixes et renfermait par conséquent, au moment de la cueillette, $1^{gr},595$ d'eau, soit 69,27 pour 100.

Une feuille d'une dimension égale, prise sur la même branche, au même instant, à 9 heures, fut suspendue à l'ombre et pesée à plusieurs reprises. Voici les poids enregistrés :

Durée de exposition.	Poids de la feuille.	Eau contenue dans la feuille au moment de la pesée.	Eau perdue depuis le commencemt de l'expérience.	Eau perdue exprimée en centièmes de l'eau initiale.	Eau perdue pendant chaque exposition.	Eau perdue rapportée à une exposition de 30^{m} de durée.	Température.	Éta hygrométrique.
h	gr	gr	gr	gr	gr	gr	o	o
0,0	2,29	1,595					14,7	76
0,30	2,25	1,555	2,04	0,51	0,04	0,04	14,8	75
0,30	2,22	1,525	0,07	4,39	0,03	0,03	15,4	71
1,0	2,12	1,425	0,17	10,66	0,10	0,05	17,6	84
1,0	2,06	1,365	0,23	14,42	0,06	0,03	17,8	66
1,0	1,96	1,265	0,33	20,69	0,10	0,05	17,7	61
1,0	1,91	1,215	0,38	23,82	0,05	0,025	16,8	63
1,0	1,87	1,175	0,42	26,33	0,04	0,220	15,8	64
1,0	1,82	1,125	0,47	29,47	0,05	0,025	9,2	86
17,0	1,32	0,625	0,97	60,81	0,50	0,015	11.8	86

Pendant les premières heures, de 9 heures du matin à 2 heures de l'après-midi, les quantités d'eau transpirées ont été sensiblement les mêmes pour des temps égaux, jusqu'à ce que les 24 centièmes de l'eau constitutionnelle aient été dissipés. A partir de la sixième heure la transpiration a diminué. La feuille retenait l'eau avec plus de force. Il en résulte que la transpiration déterminée sur une feuille isolée par deux pesées exécutées à de courts intervalles doit représenter à fort peu près ce qu'elle aurait été si cette feuille fût restée sur la plante.

Il peut paraître surprenant qu'une feuille où il entre de 70 à 80 pour 100 d'eau, et dont quelquefois l'épaisseur ne dépasse pas $\frac{1}{10}$ de millimètre, retienne ce liquide avec assez

de force pour n'en laisser s'échapper à l'ombre que 4 à 5 centigrammes dans une heure pour une surface d'un décimètre carré, bien que la température atteigne et dépasse même 26 degrés, et que l'état hygrométrique de l'atmosphère soit fort éloigné du point de saturation. Dans de semblables conditions un décimètre carré de papier mouillé suspendu à l'air serait sec en quelques instants. Si les feuilles ne se dessèchent qu'avec lenteur, c'est qu'elles sont enveloppées d'un tissu épidermique qui modère singulièrement l'évaporation. Aussi est-ce à l'absence de ce tissu qu'il faut attribuer la prompte dessiccation des plantes aquatiques quand on les sort de l'eau. Il m'a semblé intéressant de mesurer ce pouvoir modérateur de l'épiderme.

Le 22 septembre 1867, on a choisi sur un *cactus opuntia* deux articles de même surface; à l'un on a enlevé l'épiderme.

Exposition à l'ombre :

	Poids du cactus.	
	Avec l'épiderme.	Sans l'épiderme.
A 11h.38m matin.......	11gr,33	7gr,14
A 4.38 soir.........	11,18	4,97
En 5.00 .... Eau évaporée.	0,15	2,17
Eau évaporée par heure...	0,03	0,434

Ainsi, à surface égale, le cactus sans épiderme a perdu quatorze fois et demie autant d'eau que le cactus qui n'en était pas dépouillé. La surface simple des cactus était de 23 centimètres carrés (surface des deux côtés : 46 centimètres carrés). La transpiration du cactus avec son épiderme a eu lieu à raison de $0^{gr},065$ par heure et par décimètre carré. Quant à la transpiration du cactus privé d'épiderme, il fut impossible de la ramener à ce qu'elle aurait été par décimètre carré et par heure, par la raison que le volume

de l'article avait considérablement diminué; de 23 centimètres carrés, la surface simple était réduite à 15 centimètres carrés.

	Temp. de l'air.	Psychromètre.
	o	o
A 3 heures	17,4	94
A 4 heures	17,8	59

Le cactus est resté exposé jusqu'au 25 septembre.

	Avec épiderme.	Sans épiderme.
	gr.	gr.
Le 22 septembre, à $4^h 38^m$..	11,18	4,97
Le 25 septembre, à $4^h 38^m$..	10,78	1,71
En 72 heures, eau perdue...	0,40	3,26
Par heure	0,0055	0,045
Par heure et par décim. carré.	0,012	»

On voit quel obstacle l'épiderme apporte à la transpiration. C'est ce qui explique pourquoi un fragment de plante grasse conserve si longtemps sa vitalité. Ainsi, le 2 octobre, le cactus portant son épiderme pesait encore $9^{gr},95$; en sept jours il avait diminué de $1^{gr}23$, il possédait toujours la faculté de décomposer l'acide carbonique. Le cactus sans épiderme, à la même date, ne pesait plus que $0^{gr},5$; et, bien qu'ayant conservé une teinte légèrement verte, il ne fonctionnait plus. C'est parce qu'ils sont protégés par un tissu épidermique peu perméable que les fruits échappent à une dessiccation rapide, l'évaporation accomplie à leur superficie étant extrêmement faible. On en jugera par les expériences que je vais faire connaître.

I. Prune Quetsch, 17 août 1869. Surface : 57 centimètres carrés.

	Poids.	
	gr	
Exposée à l'ombre, à midi	60,15	Température : 15°.
» à $6^h 30^m$, soir.	59,95	Psychromètre : 70°.
En $6^h 30^m$, perte	0,20	Par heure et par décimètre carré : $0^{gr},054$.

II. Prune de reine-Claude ayant son épiderme; surface : 38^{cq},5. Exposée à l'ombre.

	Poids.	
	gr	
Le 27 août, à 2^{h}37^m, soir	23,29	Température : 14°.
Le 28 août, à 8^{h}25^m, matin ...	22,70	Psychromètre : 73°.
En 17^{h}40^m, perte	0,59	Par heure et par décimètre carré : 0^{gr},086.
Le 26 août, à 6^{h}30^m soir	22,30	
En 9^{h}50^m, perte	0,40	Par heure et par décimètre carré : 0^{gr},106.
Le 29 août, à 8^{h}29^m, matin	21,92	
En 13^{h}53^m, perte	0,38	Par heure et par décimètre carré : 0^{gr},071.

Prune de reine-Claude dépouillée d'épiderme. Surface : 35^{cq},55. Exposée à l'ombre :

	Poids.	
	gr	
Le 27 août, à 2^{h}20^m, soir	20,31	Température : 14°.
Le 28 août, à 8^{h}20^m, matin	16,49	Psychromètre : 71°.
En 18 heures, perte	3,82	Par heure et par décimètre carré : 0^{gr},63.
Le 28 août, à 6^{h}35^m, soir.	14,52	
En 10^{h}15^m, perte	1,97	Par heure et par décimètre carré : 0^{gr} 58.
Le 29 août, à 8^{h}23^m matin......	13,175	Par heure et par décimètre carré : 0^{gr},29.

La perte éprouvée par la prune de reine-Claude à l'état normal a été, pendant 41^{h}31^m, de 0^{gr},087 par heure et par décimètre carré de surface.

La perte éprouvée par la reine-Claude dépouillée d'épiderme a été en moyenne, en quarante-deux heures, de 0^{gr},50 par heure et décimètre carré. La perte a naturellement diminué à mesure que l'exposition se prolongeait et l'on remarquera qu'elle fut, à la même température et au même

état hygrométrique, environ six fois plus forte pour la prune sans épiderme.

I. Pomme exposée à l'ombre :

Température ..... 15°,0 Psychromètre.... 74°,0
A l'état normal, surface.......... .... $103^{cq},2$

	Poids.	
	gr	
10 octobre 1869, à 10^h mat.	70,75	
11 octobre 1869, $à^h$ 10 mat.	70,635	
En 24 heures, perte.....	0,115	Par heure et par décimètre carré : $0^{gr},005$
13 octobre à 10^h mat	70,600	
En 48 heures, perte	0,035	Par heure et par décimètre carré : $0^{gr},0007$
2 novembre, à 10^h mat.....	68,17	
En 480 heures, pertes	2,43	Par heure et par décimètre carré : $0^{gr},005$

A la fin des observations : température........ 14°,0
» psychromètre....... 75,0

II. Pomme dépouillée de son épiderme, exposée à l'ombre.

Surface.................................. $97^{cq},3$

	Poids.	
	gr	
10 octobre, 10 heures matin.	66,75	
11 octobre, 10 heures matin.	60,275	
En 24 heures, pertes.....	6,475	Par heure et par décimètre carré : $0^{gr},277$
13 octobre, 10 heures matin.	59,37	
En 48 heures, perte.....	0,905	Par heure et par décimètre carré : $0^{gr},020$

Durant les premières vingt-quatre heures l'eau perdue par la pomme pelée a été 55 fois plus forte qu'avec la pomme ayant sa pelure.

Pendant quatre cent quatre vingts heures d'exposition la perte par la pomme ayant son épiderme a été assez régulière, à peu près $0^{gr},04$ à $0^{gr},05$ par heure et par décimètre carré. La pomme pelée, au contraire, a d'abord subi une perte considérable qui a diminué rapidement.

C'est un fait établi d'ailleurs par mes recherches sur l'osmose et l'endosmose des feuilles, des fruits et des racines que le tissu épidermique ne laisse passer, par la transpiration, que de la vapeur aqueuse émanant cependant des solutions plus ou moins sucrées renfermées dans le parenchyme. En effet, après une transpiration assez prolongée pour que l'eau de constitution soit réduite aux deux tiers de son poids initial, on n'aperçoit pas à la surface de la feuille, du fruit, de la racine, aucune trace de matières concrètes, à moins qu'il n'y ait eu déchirure ou altération ([1]). J'ai eu récemment l'occasion de constater l'absence des principes sucrés à la superficie de grains de raisin suspendus à l'air depuis trois mois, quoique le jus remplissant les cellules en contînt plus de 0,07 au commencement de la dessiccation. Les grains de raisin étaient ridés; en les lavant avec soin à l'aide d'un pinceau de blaireau, l'eau de lavage ne détermina aucune réduction en la chauffant avec la liqueur cuivrique. La perte qu'une feuille subit en transpirant amoindrit l'énergie de ses fonctions; en effet, il résulte d'observations faites par mon père que l'aptitude à décomposer l'acide carbonique sous l'influence de la lumière baisse au fur et à mesure que les feuilles abandonnent de leur eau de constitution. Voici quelques-uns des résultats obtenus avec des feuilles de laurier-rose, introduit dans de l'air atmosphérique contenant de l'acide carbonique :

I. Feuille renfermant : eau	0,60
Gaz acide carbonique décomposé.............	$16^{cc},00$

([1]) J. Boussingault, *Annales de Chimie et de Physique*, 4e série, t. XXIX, p. 360.

II. Feuille ne renfermant plus que : eau 0,36
Gaz acide carbonique décomposé. . . . . $11^{cc},00$

III. Feuille ne renfermant plus que : eau 0,29
Gaz acide carbonique décomposé. . . . . $0^{cc},00$

La feuille II avait perdu les 0,40 de l'eau initiale et la feuille III les 0,52.

Les feuilles, quand elles ne reçoivent pas une quantité de séve ascendante capable de remplacer l'eau éliminée durant la transpiration, perdent de leur consistance; l'aspect qu'elles prennent alors est fort différent selon les espèces végétales. Si chez les unes il suffit d'une perte de 0,16 de l'eau constitutionnelle pour commencer à se flétrir, il en est d'autres qui restent rigides en éprouvant une perte beaucoup plus forte. L'état que prend une feuille exposée à l'atmosphère dépend, d'un côté, de la facilité avec laquelle elle laisse échapper l'eau et, de l'autre, du plus ou moins de rapidité dans l'ascension de la séve. Mais il n'y a pas ordinairement simultanéité d'intensité dans les deux fonctions, et cela est concevable si l'on considère que la température, l'état hygrométrique de l'air, le vent agissent d'une manière très-prononcée sur l'évaporation sans influencer notablement le mouvement ascensionnel de la séve. Aussi la proportion d'eau dans les feuilles doit-elle varier et varie-t-elle en effet dans le cours de la journée, ainsi qu'on a pu le reconnaître dans une série d'expériences faites en août 1869, consistant à marquer, sur un même rameau, trois feuilles aussi semblables que possible. On en pesait une à 7 heures du matin, les deux autres à 3 heures et à 8 heures du soir; après les pesées, chaque feuille était séchée à l'étuve chauffée à 100 degrés. Voici les résultats, les feuilles étant ramenées à une surface de 1 décimètre carré :

Plantes.	Heures des pesées.	Poids des feuilles.	Matières fixes.	Eau.	Matières fixes.	Eau.
		Feuilles ramenées à une surface de 1 décimètre carré.			Dans 100 grammes de feuilles.	
	h	gr	gr	gr		
Boussingaultia..	7 matin	5,32	0,28	5,04	5,26	94,74
» ..	3 soir	5,53	0,40	5,13	7,23	92,77
» ..	8 soir	5,91	0,38	5,53	6,43	93,57
Vigne.........	7 matin	1,28	0,43	0,85	33,59	61,41
»	3 soir	1,56	0,55	1,01	35,25	64,75
»	8 soir	1,75	0,57	1,18	32,57	67,43
Concombre....	7 matin	2,47	0,52	1,95	21,05	78,95
»	3 soir	2,65	0,63	2,02	23,78	76,23
»	8 soir	2,43	0,53	1,90	21,81	78,19
Cerise....... ..	7 matin	3,82	1,62	2,15	42,41	57,59
»	3 soir	3,63	1,60	1,97	45,72	54,28
»	8 soir	3,81	1,48	2,33	38,84	61,16

Les feuilles désignées pour les pesées avaient des dimensions à très-peu près égales, cependant on ne saurait affirmer qu'elles aient eu une identité absolue de composition ; on peut voir que le matin elles renfermaient plus d'eau, qu'au milieu du jour la proportion diminuait ensuite pour revenir le soir à ce qu'elle était au lever du soleil.

Dans les conditions où l'expérience a été faite, la terre et l'atmosphère étaient assez humides ; il faisait peu de vent. Lorsque le sol est desséché, ce qui coïncide presque toujours avec la sécheresse et l'agitation de l'air, il arrive que les feuilles ne récupèrent pas, pendant la nuit, l'eau qu'elles ont perdue dans le jour. Elles restent penchées vers la tige ; leur vitalité est comme suspendue jusqu'à l'arrivée de la pluie. C'est là, du reste, une étude que j'aborderai, lorsque j'aurai terminé d'exposer ce qui est relatif à la transpiration.

§ III. — *Transpiration des feuilles par l'un et l'autre côté du limbe.*

Dans ce qui précède, on a considéré comme surface évaporatoire la surface totale d'une feuille, c'est-à-dire la somme des deux surfaces opposées. On a bien ainsi la

quantité de vapeur aqueuse émanée d'une feuille, mais on ne distingue pas celle émise par chaque côté du limbe. Chez la plupart des feuilles, la surface supérieure, celle tournée vers le ciel, est plus lisse, d'un vert plus foncé, porte moins de stomates que la face dirigée vers la terre. Les feuilles ainsi constituées ont une position à peu près horizontale, tandis que, lorsqu'elles sont pourvues de stomates en nombre à peu près égal sur les deux faces, comme cela a lieu pour les graminées, leur port est presque vertical.

On est tout naturellement porté à croire que la transpiration devait être plus forte par le côté pourvu de perforations, établissant une communication plus directe de l'air extérieur avec le parenchyme.

La question a été abordée, d'abord indirectement, par Charles Bonnet, après qu'il eut reconnu, avec Calandrini, « que les feuilles des arbres, comme celles des *herbes*, sont toujours dirigées de façon que leur surface supérieure regarde le ciel ou l'air libre ; l'inférieure, la terre ou l'intérieur de la plante ; que la surface supérieure est ordinairement lisse et lustrée, sans nervures saillantes ; que la surface inférieure est, au contraire, pleine de petites aspérités, ou garnie de poils courts ; que ses nervures ont du relief ; que sa couleur est toujours plus pâle que celle de la surface supérieure, qui n'a que peu ou point de lustre [1]. »

Charles Bonnet pensait que « des différences aussi frappantes avaient une fin », et, d'après les idées assez confuses de l'époque sur la nutrition des végétaux, il considérait la surface inférieure des feuilles comme « destinée à pomper la rosée qui s'élève de la terre » ; aussi Bonnet ne se préoccupe-t-il pas de la transpiration, il cherche uniquement à établir qu'une feuille en contact avec l'eau en absorbe plus par sa face inférieure que par sa face supérieure.

---

(1) Charles Bonnet, *Recherches sur l'usage des feuilles*.

Il posait « sur de l'eau plusieurs feuilles d'une même espèce, de façon que les unes fussent humectées par leur surface supérieure, les autres par leur surface opposée. » L'absorption était mesurée par la diminution du volume du liquide. Des dispositions adoptées par Ch. Bonnet, il ressort clairement qu'il mesurait à la fois les effets de deux phénomènes distincts, puisque l'absorption de l'eau par la surface d'une feuille répondait naturellement à l'évaporation accomplie à la face opposée. Les résultats, du reste, n'eurent rien de bien saillant. Pour les herbacées, les feuilles vécurent à peu près aussi longtemps en absorbant l'eau par l'une ou l'autre face.

Les feuilles des arbres, si l'on en excepte les lilas et les trembles, absorbèrent par leur face inférieure plus d'eau que par leur face supérieure ([1]).

Ch. Bonnet déduit de ces observations que « les plantes tirent l'humidité par leurs feuilles ; qu'il y a une étroite communication entre ces feuilles; que cette communication s'étend à tout le corps de la plante ; que l'on peut dire que les végétaux sont plantés dans l'air, à peu près comme ils le sont dans la terre ; que les feuilles sont aux branches ce que le chevelu est aux racines ; que c'est surtout à l'aide de leurs feuilles que les plantes nées dans un territoire ingrat ne laissent pas d'y faire de grands progrès, les rosées, les brouillards et les pluies leur fournissant d'abondantes nourritures, et dont elles perdent d'autant moins qu'elles ont plus de bouches préparées pour la recueillir. De là vient encore que, dans certaines contrées, les rosées suffisent presque seules pour l'entretien des plantes ([2]). »

Une fois admis que la rosée était absorbée par la surface inférieure des feuilles, Ch. Bonnet fut conduit à supposer que le phénomène opposé à l'absorption, la transpiration,

---

([1]) Charles Bonnet, *Usage des feuilles.*
([2]) *Ibid.*

avait lieu, principalement par la surface supérieure, « très-propre à la faciliter par son extrême poli, par l'absence de poils, d'aspérités ».

Ainsi chaque côté du limbe de la feuille d'une plante ligneuse aurait une fonction spéciale : l'un, d'absorber l'eau météorique ; l'autre, de la laisser échapper après avoir retenu les matériaux fertilisants qu'elle pouvait contenir.

Il est curieux de voir un observateur aussi sagace faire une large part à l'intervention de la rosée dans la nutrition végétale, et cela pour justifier la fonction importante qu'il attribuait à la face inférieure des feuilles. Pour vérifier si les surfaces se comportaient réellement ainsi, Ch. Bonnet plongeait, dans des tubes remplis d'eau, le pétiole des feuilles de même espèce, de même dimension (*fig.* 2) ; il enduisait

Fig. 2.



les feuilles d'huile d'olive, les unes sur leur surface supérieure, les autres sur leur surface inférieure ; d'autres feuilles n'étaient pas enduites. On mesurait l'évaporation par l'abaissement du niveau du liquide dans le tube. Puisque la face snpérieure était principalement destinée à la transpiration, les feuilles enduites d'huile sur cette face devaient moins transpirer que celles enduites d'huile sur la face opposée ; or il arriva précisément le contraire : sur vingt et une espèces, le marronnier d'Inde fut la seule dont les feuilles huilées sur la face supérieure aspirèrent moins d'eau, ou, si l'on veut, transpirèrent moins que lorsqu'elles étaient huilées sur la face inférieure.

Les feuilles du rosier, de la vigne du Canada en aspirèrent à peu près la même quantité, quels que fussent les côtés huilés. Les feuilles des autres espèces aspirèrent toutes davantage, lorsque c'était la face supérieure qui avait été enduite d'huile.

Les feuilles des plantes herbacées se comportèrent de la même manière. Ch. Bonnet en conclut, contrairement à sa prévision, que « la surface inférieure des feuilles n'est pas moins destinée à la transpiration qu'à la nutrition ». Il aurait dû conclure, car ses expériences semblaient le prouver, que cette face inférieure est surtout destinée à la transpiration.

Au point de vue de l'étude de la transpiration, les expériences de Ch. Bonnet furent faites dans des conditions peu favorables, dans un appartement clos, dont l'air était probablement peu éloigné du point de saturation, et à une température à peu près constante. La durée de l'observation était d'ailleurs trop prolongée pour supposer que l'eau disparue dans les tubes eût toujours pénétré par le pétiole en quantité suffisante pour remplacer l'eau évaporée. En effet, les expériences rapportées dans la première partie de ce travail montrent que, si l'on eût observé non pas dans une chambre fermée, mais en plein air, par conséquent dans des conditions de température et d'état hygrométrique fort variables, l'eau n'aurait certainement pas monté assez vite du tube dans la feuille pour remplacer l'eau dissipée. Sans doute la lenteur avec laquelle l'eau parcourt le pétiole immergé n'est pas manifeste sur des feuilles rigides telles que celles du noyer, du cerisier, du pommier, du laurier, du lierre, etc., mais elle le devient sur des feuilles molles, flexibles, à mince épiderme. L'insuffisance du pétiole pour amener l'eau dans le parenchyme est promptement accusée. Une feuille de concombre, d'*Helianthus,* de mauve, placée dans de telles conditions, ne tarde pas à être fanée, même à l'ombre, surtout si l'air est sec et agité. Alors le volume

d'eau disparue dans la jauge ne représente plus, à beaucoup près, le volume de l'eau que la plante a transpirée. On a insisté ailleurs sur ce que dans maintes conditions météorologiques, alors même que le sol est très-humide, l'eau, tout en parvenant dans les racines, dans les tiges, dans les pétioles, n'y pénètre pas en quantité suffisante pour fournir à l'évaporation des feuilles : je reviendrai, d'ailleurs, sur cette question intéressante.

Il y avait donc lieu, selon moi, de reprendre les expériences de Ch. Bonnet. On a déterminé comparativement la transpiration à la surface inférieure et à la surface supérieure d'une même feuille, en faisant usage de la balance. Le côté du limbe que l'on voulait empêcher de transpirer était recouvert de suif préalablement maintenu en fusion à 130 degrés, pour en expulser l'eau ou les matières volatiles. On l'appliquait sur la feuille quand la température ne dépassait plus celle de l'air.

La feuille ayant un côté recouvert, on la pesait après l'avoir mise dans une boîte en métal. On fit d'abord quelques essais pour savoir si le suif s'opposerait à la transpiration, et l'on reconnut, non sans surprise, que l'enduit gras n'était pas un obstacle absolument infranchissable à la vapeur aqueuse; au moins on put se convaincre qu'une feuille recouverte de suif sur toute sa superficie éprouve néanmoins une légère perte quand elle reste exposée à l'air libre. Voici quelques pesées :

Feuilles enduites de suif sur les deux côtés.

	Durée de l'exposition.	Poids.	Surface.	Perte.	Perte par décimètre carré.
		gr	cc	gr	gr
Laurier-cerise.....	1 heure au soleil.	3,18	100	0,015	0,015
»	1 heure au soleil.	3,105	101	0,020	0,020
»	1 heure au soleil.	5,45	195	0,010	0.005
Lilas.............	1 heure au soleil.	1,72	103	0,020	0,019
Laurier-cerise.....	1 heure à l'ombre.	5,07	137	0,010	0,007
Marronnier......	1 heure à l'ombre.	1,47	212	0,020	0,007
Châtaignier......	1 heure à l'ombre.	3,61	217	0,030	0,014

Ainsi, les feuilles enduites de suif ont perdu de leur poids. La perte est réelle ; on ne saurait l'attribuer à quelques principes volatils ou à une combustion du corps gras, car le poids d'une lame de laiton d'un décimètre carré recouvert de suif, suspendue au soleil pendant une heure, n'a pas varié. Néanmoins, dans les pesées exécutées sur des feuilles dont une partie de la surface était sequestrée, on n'a pas cru devoir introduire de correction. On opérait sur deux feuilles semblables, cueillies au même moment, l'une, par exemple, ayant l'*envers* sous le suif : la transpiration alors n'avait lieu que par l'endroit. L'autre feuille était enduite sur l'endroit pour que la transpiration se fît par l'envers. Dans quelques cas, pendant qu'on mesurait l'évaporation sur chacun des côtés, on la mesurait aussi simultanément sur une feuille entière ne portant pas d'enduit gras, pour voir si la somme des quantités d'eau transpirées par l'envers et par l'endroit différerait de la quantité d'eau transpirée par la totalité d'une feuille dont les deux côtés resteraient libres. Enfin, pour atténuer une cause d'erreur provenant de ce que deux feuilles de même dimension, de même âge, pourraient renfermer des proportions distinctes d'eau, on a quelquefois comparé sur une feuille unique la transpiration de chacun des côtés du limbe, en la divisant en deux parties symétriques, suivant le sens de la nervure principale.

Voici les observations faites pendant le mois d'août :

Date de l'observation.	Feuilles.	Surface exposée à l'air.	Durée de l'exposition.	Eau évaporée par l'envers.	Eau évaporée par l'endroit.	Eau évaporée par la somme.	Tempé-rature.	Psychro-mètre.	Heure de l'exposition.
		cc	h m	gr	gr	gr	o	o	h m
1866. Août 6.	Laurier-rose.	44,8	0.39	0,110	0,016	0,126	19,0	65,0	11.30 au soleil.
1867. Août 2.	»	25,0	2.16	0,195	0,010	0,205	22,1	58,0	2.00 »
» 3.	Laurier-cerise. . . .	51,0	1.54	0,103	0,049	0,152	19,0	67,0	10.30 à l'ombre.
» 4.	»	78,0	2.32	0,142	0,043	0,185	18,0	65,0	10.00 au soleil.
1866. Août 8.	Lilas.	29,0	1.00	0,200	0,029	0,229	17,6	66,0	9.30 »
1867. Août 4.	»	52,0	2.50	0,214	0,073	0,287	19,2	68,0	9.30 à l'ombre.
1866. Août 16.	Marronnier.	138,0	1.00	0,210	0,040	0,250	25,0	76,0	10.00 »
1867. Août 4.	»	74,0	1.44	0,170	0,035	0,205	18,6	80,0	11.10 au soleil..
» 18.	»	42,0	1.50	0,055	0,010	0,065	24,8	67,0	1.30 »
» 9.	Châtaignier	104,0	1.22	0,145	0,082	0,227	21,0	60,0	3.00 »
1866. Août 19.	»	108,0	1.00	0,080	0,025	0,105	20,0	75,0	9.00 à l'ombre.
1867. Août 13.	Vigne.	86,0	1.10	1,060	0,100	1,160	20,0	60,0	3.30 au soleil.
» 18.	»	42,0	1.40	0,135	0,055	0,185	23,0	68,0	2.30 à l'ombre
» 4.	Platane......... ...	131,0	2.42	0,165	0,080	0,140	17,3	70,0	10.00 »
» 29.	»	141,0	1.50	0,075	0,040	0,115	18,0	60,0	10.15 »
» 4.	Framboisier....... ..	37,0	2.30	0,145	0,045	0,190	18,6	80,0	12.00 »
» 4.	Haricot nain.......	75,0	1.29	0,275	0,142	0,317	18,9	60,0	midi »
» 19.	»	35,0	2.20	0,120	0,080	0,200	25,5	76,0	3.00 »
» 7.	Mûrier blanc... ...	63,0	1.11	0,085	0,040	0,125	21,0	60,0.	1.30 »
» 19.	Hortensia....	116,0	1.50	0,305	0,130	0,430	25,6	76,0	2.30 »
» 9.	Chêne.........	92,5	1.18	0,108	0,035	0,143	20,9	59,0	2.40 »
» 19.	»	53,0	1.60	0,101	0,055	0,156	26,0	69,0	3.35 »
» 9.	Noyer.	100,0	1.16	0,080	0,050	0,130	21,0	80,0	3.15 »
» 19.	Poirier.	14,0	2.35	0,155	0,055	0,210	25,6	79,0	2.15 »

Date de l'observation.		Feuilles.	Surface exposée à l'air.	Durée de l'exposition.	Eau évaporée par l'envers.	Eau évaporée par l'endroit.	Eau évaporée par la somme.	Tempé-rature.	Psychro-mètre.	Heure de l'exposition.
			cc	h m	gr	gr	gr	o	o	h m
1867. Août	19.	Pommier	41,0	2.40	0,150	0,045	0,195	24,0	75,0	11.40 à l'ombre.
»	12.	Oranger	66,0	2.00	0,185	0,028	0,213	22,0	59,0	10.30 au soleil.
»	18.	»	31,5	1.20	0,080	0,013	0,093	24,5	76,0	2.15 »
»	17.	Topinambour	20,5	1.20	0,030	0,015	0,045	20,2	76,0	10.00 »
»	19.	Houx	15,0	6.51	0,140	0,055	0,195	24,5	76,0	De midi à 6 h., au soleil.
»	9.	Catalpa	195,0	1.60	0,325	0,115	0,440	22,2	59,0	2.00 au soleil.
»	9.	Maïs	165,0	2.00	0,350	0,445	0,795	22,5	60,0	3.30 »
»	11.	Boussingaultia	120,0	1.00	0,385	0,315	0,700	22,0	59,0	4.00 »
»	11.	Convolvulus	144,0	0.35	0,290	0,077	0,367	22,0	58,0	4.00 »
»	19.	»	32,0	1.56	0,690	0,136	0,726	25,5	79,0	2.00 »
»	12.	Asclépiade	233,0	2.11	1,710	0,860	2,170	21,1	59,0	11.00 »
»	14.	Pêcher	43,0	1.00	0,060	0,015	0,075	22,0	75,0	4.00 »
»	18.	»	25,5	1.00	0,030	0,020	0,050	18,0	92,0	7.30 à l'ombre.
»	4.	Lierre	79,0	3.15	0,085	0,025	0,110	18,1	71,0	10.00 »
»	14.	Pervenche	31,5	1.00	0,150	0,035	0,185	23,0	84,0	11.00 »
»	15.	»	20,0	0.50	0,110	0,020	0,130	25,5	56,0	11.30 »
»	17.	Tabac	116,0	1.13	0,300	0,175	0,475	20,0	75,0	10.00 »
»	19.	Topinambour	71,5	1.09	0,545	0,415	0,960	26,0	69,0	11.00 »
»	18.	Betterave	144,0	2.00	0,692	0,510	1,202	19,3	88,0	8.30 »
»	19.	Choux	105,0	3.32	1,250	0,630	1,880	23,5	81,0	11.00 »
»	19.	Colrave	105,0	3.22	1,250	0,675	1,930	23,5	81,0	11.30 »
»	15.	Concombre	72,0	1.00	0,420	0,320	0,752	23,0	56,0	10.00 »
»	19.	Cerisier	32,0	0.53	0,070	0,020	0,072	23,0	77,2	10.00 »

Les différences entre la transpiration accomplie sur chaque côté des feuilles ont été plus fortes au soleil qu'à l'ombre. En éliminant le laurier-rose et le maïs, dont les observations ont quelque chose d'anormal, on trouve, pour le lilas, la vigne, le poirier, l'oranger, le topinambour, le houx, le catalpa, la boussingaultia, le convolvulus, l'asclépiade, le pêcher, que l'eau transpirée par l'endroit des feuilles est à la transpiration par l'envers :: 1 : 4,3.

En prenant une moyenne des observations à l'ombre, l'eau transpirée par l'endroit et l'envers des feuilles aurait été dans le rapport de 1 : 2,4. La transpiration a été à peu près la même sur les deux côtés du limbe, pour :

	Au soleil.	A l'ombre.
Le marronnier	5,2	4,8
Le maïs	0,8	0,8
La pervenche	5,5	4,3

Dans quelques expériences on a comparé la somme des quantités d'eau évaporée sur chacun des côtés de la feuille pris isolément à l'évaporation accomplie, sur une feuille entière de même dimension. Voici les résultats :

	Somme de l'eau transpirée par chaque côté.	Eau transpirée par la feuille entière.	Différences.
Laurier-rose	0,205	0,205	0,000
Laurier-cerise	0,152	0,112	0,040
Laurier-cerise	0,185	0,128	0,057
Lilas	0,229	0,170	0,095
Marronnier	0,205	0,185	0,020
Châtaignier	0,105	0,080	0,025
Vigne	1,160	1,085	0,075
Framboisier	0,185	0,165	0,020

Si la transpiration d'une même feuille dans un espace de temps égal est trouvée plus forte quand on la déduit d'observations faites sur un seul côté du limbe, cela peut

tenir à ce que la vapeur émise n'a qu'une issue : quoi qu'il en soit, il résulte de cette série d'expériences que, dans les mêmes circonstances de température et d'état hygrométrique de l'air, la transpiration est généralement plus forte par l'envers que par l'endroit d'une feuille.

§ IV. — *Rapport de la surface évaporatoire des feuilles à la surface absorbante des racines.*

Dans les conditions normales, l'eau que les feuilles transpirent est remplacée par celle que les racines puisent dans le sol. Pendant la journée la transpiration est souvent assez énergique pour que la séve ascendante n'arrive pas assez rapidement dans le parenchyme. Les feuilles abandonnent alors une partie de leur eau de constitution : c'est ce qui a lieu par les effets combinés de la chaleur, de la sécheresse et du vent. Lorsqu'il survient un ralentissement dans l'évaporation par suitedu refroidissement ou du calme de l'atmosphère, dans la nuit, ou par un ciel couvert, par un brouillard, les feuilles récupèrent bientôt l'eau qu'elles ont perdue, parce que les racines ne cessent de fonctionner que lorsque tout l'organisme est en quelque sorte saturé d'humidité, état qui ne peut se maintenir que si la terre fournit autant d'eau qu'il en sort par la transpiration.

Lorsqu'une branche détachée de l'arbre, ou une tige portant des rameaux, mais dont on a coupé les racines, est mise dans l'eau, dans de la terre humectée, la transpiration feuillue a lieu d'abord comme sur un végétal entier ; toutefois la restitution de l'eau transpirée se fait avec une telle lenteur que bientôt les feuilles se dessèchent et meurent, la durée de leur vitalité dépendant de l'eau approvisionnée dans la tige.

En effet, une branche, une tige isolée offre une grande différence avec une plante complète dans leur contact avec la terre humide. L'eau, pour arriver dans l'organisme, pé-

nètre, dans le premier cas, par une section de peu d'étendue superficielle, tandis que, dans le second cas, alors que les racines interviennent, la surface absorbante est considérable et diffère infiniment moins de la surface des feuilles. Ainsi Hales a trouvé qu'un *Helianthus* ayant, hors de terre, une surface feuillue de 39 pieds carrés, avait des racines présentant une surface de 15 à 16 pieds carrés. Le rapport de ces surfaces était donc :: 1 : 2,4. Un chou ayant une surface de feuilles de 19 pieds carrés présentait une surface de racines de 1 à 2 pieds. L'aire de la section des tiges était :

Pour l'*Helianthus*.................... 1 pouce carré.
Pour le choux....................... $\frac{3}{4}$ de pouce.

Le rapport existant entre l'étendue superficielle des organes souterrains et celle des organes aériens d'une plante, c'est-à-dire la relation entre la surface absorbante enfouie dans la terre et la surface évaporatoire, doit donc être pris en considération.

Les racines, quel que soit leur mode de fonctionner, doivent puiser d'autant plus d'eau dans le sol qu'elles sont plus développées, et l'inaptitude de la section d'une tige à une absorption, même momentanée, pourrait bien dépendre en partie du peu de surface qu'elle présente à l'eau ou à la terre humectée. Une expérience que Perrault fit à l'occasion d'une vive discussion sur l'analogie du mouvement de la séve dans les arbres avec la circulation du sang chez les animaux montra que, dans certaines limites, un organe suffisamment développé remplit en quelque sorte une des fonctions des racines. Hales soutenait qu'il n'y avait pas de circulation dans les plantes et que les expériences entreprises pour la prouver établissaient simplement l'existence d'un mouvement rétrograde d'une partie de la séve parvenue au sommet du végétal; il répéta toutefois l'expérience de Perrault sur des branches de cerisier, de groseillier, de pommier, portant chacun deux rameaux

feuillus, dont l'un plongeait dans un vase plein d'eau, tandis que l'autre restait en dehors.

Les branches suspendues dans l'air furent promptement fanées ; celles, au contraire, ayant un rameau submergé conservèrent leur vigueur : le groseillier pendant onze jours, la vigne, le pommier durant plusieurs semaines, « d'où il est clair, dit Hales, que, soit par la quantité d'eau que la transpiration doit dissiper en onze jours et que les feuilles doivent tirer pour conserver leur verdeur, soit par la consommation de l'eau dans les vaisseaux, les rameaux avaient tiré toute cette quantité à travers les feuilles du rameau plongé dans l'eau ».

La seule conséquence que Hales déduisit fut « combien il est probable que les végétaux tirent la pluie et la rosée surtout dans la saison sèche [1]. »

Sans doute, il en résultait la preuve de la perméabilité des feuilles, mais il paraîtra singulier que Hales ne fût pas frappé du fait principal, à savoir que les feuilles du rameau submergé, eu égard à la forte proportion d'eau qu'elles avaient introduite dans le rameau qui ne l'était pas, s'étaient comportées comme des racines.

Charles Bonnet aussi avait reconnu qu'une ou plusieurs feuilles maintenues dans l'eau *pouvaient nourrir*, ce sont ses expressions, une ou plusieurs autres feuilles appartenant à la même brachiole. Or on a vu maintes fois, dans le cours de ce travail, qu'en se bornant à plonger dans l'eau la section d'une branche ou un pétiole, les feuilles exposées à l'air se fanaient rapidement. Il est donc permis d'attribuer la plus longue durée de leur existence, dans les conditions de l'expérience de Perrault, à la faculté d'absorption des feuilles submergées. Les feuilles tenues à l'air, même dans ces conditions, ne restent vertes, il est vrai, que pendant un temps limité, mais on ne doit pas oublier que, si

---

(1) HALES, *Statique des végétaux*, Ch. IV, t. I, p. 101.

elles eussent appartenu à une plante entière dont les racines plongeaient dans de l'eau pure, elles ne se seraient pas mieux conservées, par la raison que ce liquide, amené soit par le concours des racines, soit par le concours des feuilles, ne renfermerait pas les principes fertilisants répandus dans la terre et que, par conséquent, malgré le carbone qu'elles tireraient de l'atmosphère, une plante placée dans une telle situation finirait par succomber.

L'expérience de Perrault est capitale lorsqu'on l'envisage à ce point de vue que des feuilles submergées déterminent l'ascension de l'eau dans une branche quand leur surface approche de la surface des feuilles exposées à l'air et faisant partie de la même branche. Cette expérience a semblé assez intéressante pour être répétée en faisant intervenir la balance, et cela d'autant mieux qu'elle jette de la lumière sur cette question encore controversée : l'absorption de l'eau liquide par les parties vertes des végétaux.

Observation faite sur le platane et sur le lilas.

I. On a choisi une jeune branche formée de deux rameaux A et B (*fig.* 3).

On rapportera les observations sur le platane.

La surface des feuilles de A maintenues dans l'eau était de 2024 centimètres carrés.

La surface des feuilles de B exposées à l'air était de 1933 centimètres carrés.

Le flacon contenant l'eau était bouché par un liége ayant une entaille sur le bord pour laisser passer la tige.

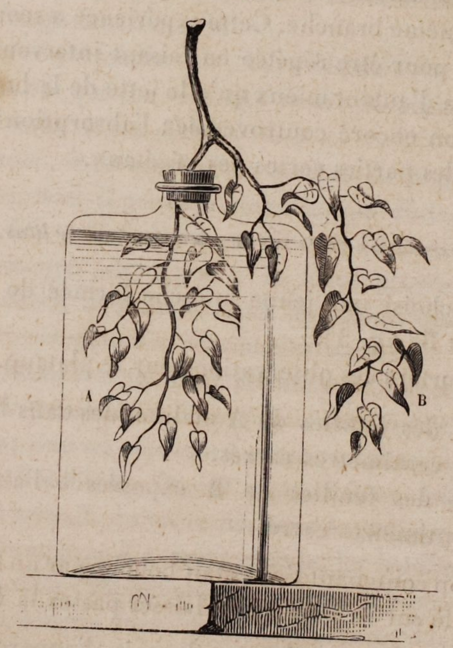
Le 27 septembre, à 7 heures du soir, l'appareil établi dans le jardin pesait	4090^{gr}
Le 28 septembre, à 7 heures du matin.	4085
Eau évaporée en douze heures, la nuit.	5
Par décimètre carré de feuille, en une heure. .	$0^{gr},021$

Le 28 au matin : température.	15°,8
» psychromètre.	91°
Air calme.	

Le 28 septembre, à 7 heures du matin, appareil. .	4085gr
» à 5h 30m du soir.	4028
Eau évaporée en 10h 30m au soleil.	57
Par décimètre carré de feuille en une heure. . . .	0gr,30

Le 28 septembre à 3 heures, température	16°,00
» psychromètre.	87
Air calme, ciel pur.	

Fig. 3.



Le 28 septembre, à 5h 30m soir, appareil	4028gr
Le 29 septembre, à 7h 0m matin	4026
Eau évaporée en 13h 30m pendant la nuit.	2
Par décimètre carré de feuille en une heure.	0,008

Le 29 à 7 heures du matin : température.	15°,0
» psychromètre.	90°

Air calme.

Le 29 septembre, à 7 heures du matin, appareil. .	4026^{gr}
Le 2 octobre, à 1 heure après midi.	3860
Eau évaporée en cinquante-quatre heures, le jour et la nuit.	166
Par décimètre carré en une heure.	0^{gr},16
Température.	12 à 15°
Psychromètre.	74 à 91°
Le 9 octobre à 9 heures du matin, appareil. . . .	3694,5
Eau évaporée en 148 heures, jour et nuit.	161,5
Par décimètre carré en une heure.	0,04
Depuis le 29 septembre, le thermomètre vers le lever du soleil a indiqué	5° à 7°
Le psychromètre de.	80 à 90
A 2 heures, thermomètre.	13 à 14
Psychromètre	70 à 73

Vent d'est.

Si l'on considère l'eau évaporée pendant la nuit comme nulle, on trouve pour la transpiration des feuilles de platane pendant la journée par décimètre carré en une heure :

Le 28 septembre.	0^{gr},30
Du 29 septembre au 2 octobre.	0,20
Du 2 au 9 octobre.	0,07

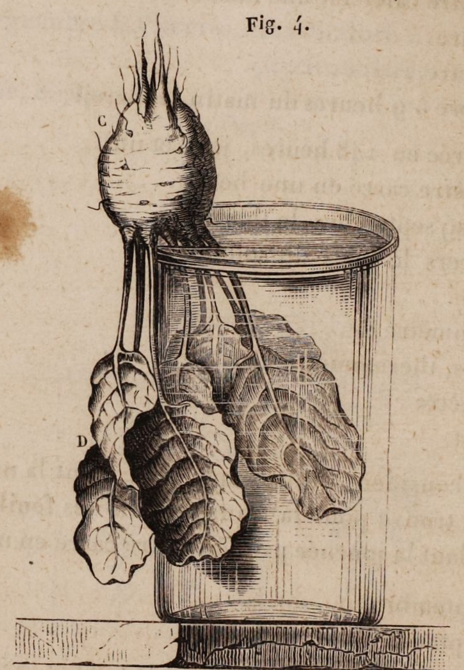
Les feuilles en contact avec l'air avaient conservé toute leur fraîcheur; la diminution constatée dans leur transpiration à partir du 29 septembre est expliquée, d'un côté, par l'abaissement de la température et l'accroissement de l'humidité de l'air.

L'eau de la jauge dans laquelle plongeaient les feuilles fonctionnant comme racines, puisqu'elles fournissaient

l'eau évaporée, avait gardé sa limpidité. Cependant, bien que les feuilles submergées présentassent une belle teinte verte et l'apparence qu'elles avaient avant leur submersion, elles étaient enduites d'une légère couche d'une matière visqueuse qu'on en détachait aisément par le frottement.

II. Dans une expérience faite sur des feuilles de betteraves attenant à la racine et dont une partie plongeait dans l'eau, tandis que l'autre était dans l'air (*fig.* 4), le résultat fut

Fig. 4.



bien différent ; on avait coupé, en C, le corps de la betterave. En un jour les feuilles placées à l'air furent toutes flétries ; le collet de la racine n'établissait pas une communication suffisante entre les feuilles submergées et celles qui ne l'étaient pas.

III. Afin de bien établir que dans l'expérience sur le platane la transpiration avait diminué par le fait du re-

froidissement de l'atmosphère; on rapportera une série d'observations sur la vigne pendant laquelle on a suivi avec beaucoup d'attention les variations du thermomètre et du psychromètre.

Le 8 septembre 1868, un rameau fut plongé dans l'eau par sa base. La surface des feuilles submergées F était 15 décimètres carrés (*fig.* 5); celle de 16 feuilles maintenues hors

Fig. 5.



de l'eau 23 décimètres carrés. Un rameau semblable fut en même temps plongé dans l'eau par sa base, la section de la tige ayant 1 centimètre carré.

On plaça les appareils au soleil :

Le 8 septembre à $11^h 50^m$ du matin, l'appareil à feuilles immergées pesait	4443^{gr}
Le 9 septembre, à $5^h 30^m$ du matin	4420
Eau évaporée	23

La transpiration nocturne est si faible en septembre qu'on peut la négliger et admettre pour la durée de l'exposition au jour $5^h\ 40^m$; par conséquent, on aurait pour l'eau transpirée par décimètre carré de feuille en une heure. $0^{gr},17$

Le 8 septembre la température monta à......... $27^o,4$
Le psychromètre indiquait.................... 60°
Le 10 septembre à $5^h\ 30^m$ du matin, le poids de l'appareil était......................... 1398^{gr}

Eau évaporée le jour et la nuit depuis le 9 à la même heure.......................... 22
Adoptant 12 heures pour la transpiration dans la journée, on a par décimètre carré en une heure. $0^{gr},08$

Les feuilles se trouvaient en très-bon état. Tout au contraire, celles dont la section de la tige seule plongeait dans l'eau étaient flétries et pendantes; par leur section d'un centimètre carré, il n'avait pas pénétré assez d'eau pour subvenir à la transpiration.

Voici les pesées faites à différentes époques. La perte de poids exprime l'eau évaporée par les feuilles en contact avec l'air, dont la surface totale (les deux côtés du limbe) était de 23 décimètre carrés au début de l'expérience. Cette eau ayant été absorbée par les feuilles submergées ayant une surface de 15 décimètres carrés, on a joint au tableau la température de l'air mesurée à l'ombre, et les indications psychrométriques.

Dates.	Heures.	Poids de l'appareil.	Eau évaporée. Depuis la précédente pesée.	Eau évaporée. Par décimètre carré de feuilles en une heure.	Au lever du soleil. Température.	Au lever du soleil. Psychromètre	Entre 2 et 3 heures. Température.	Entre 2 et 3 heures. Psychromètre.
	h m	gr	gr	gr	o	o	o	o
Sept. 8	11.42	4443						
9	5.22	4420	23	0,170	24,0	41	27,4	39
10	5.30	4398	22	0,080	14,4	63	28,8	31
11	5.30	4375	23	0,083	13,5	82	28,2	34

			Eau évaporée.		Au lever du soleil.		Entre 2 et 3 heures.	
Dates.	Heures.	Poids de l'appareil.	Depuis la précédente pesée.	Par décimètre carré de feuilles en une heure.	Température.	Psychromètre.	Température.	Psychromètre.
	h m	gr	gr	gr	o	o	o	o
12 (1)	5.30	4355	20	0,076	15,2	78	19,4	66
13	6.30	4334,5	20,5	0,072	12,2	79	19,9	50
14	6.30	4319,5	15,0	0,065	10,8	65	27,2	37
18	6.30	4218	101,5	0,097	9,7	72	22,2	36 (2)
19	3.30 (3) ap. midi.	4173	45,0	0,098	15,0	68	25,4	39
24	6.0 matin.	4108	65,0	0,079	16,0	78	21,0	57
Nov. 2	6.0 (4) matin.	4000	108,0	0,020	11,0	96	14,6	72

Jusqu'au 24 septembre, la transpiration des feuilles, si l'on en excepte la première observation, fut assez régulière; à partir du 9, les températures minima et maxima, l'état hygrométrique de l'air ne présentèrent pas de grands écarts. Après cette date le vent d'ouest domina, le temps devint pluvieux. Il y eut de forts brouillards, des gelées blanches; la température baissa notablement; l'humidité se maintint assez près du maximum. La transpiration devait diminuer : c'est ce qui arriva. La pesée, faite le 2 novembre, ne donna plus qu'une évaporation de $0^{gr},02$ par décimètre carré en une heure. Les feuilles du rameau se comportèrent comme celle d'une vigne voisine en pleine terre; elless supportèrent sans souffrir la forte chaleur et la sécheresse amenées par le vent d'est qui régna jusqu'au 19 septembre; elles restèrent fermes, alors que les feuilles des betteraves de la grande culture étaient flétries. Même en plein soleil, les feuilles de l'appareil, exposées à l'air,

(1) Une feuille d'une surface de $115^{cq},1$ est détachée par accident. La surface exposée à l'air devient $21^{cq},85$.

(2) Moyenne des observations : vent d'est très-fort le 15 septembre.

(3) Un vent violent soufflant de l'ouest oblige à rentrer l'appareil.

(4) Une gelée matinale, survenue le 28 septembre, a fait tomber cinq feuilles ayant ensemble une surface de $9^{dq},65$. La surface évaporatoire a été ainsi réduite de $12^{dq},22$.

procuraient une sensation de fraîcheur à la main; le 20 septembre quelques-unes portaient des points jaunes que l'on voyait aussi sur les feuilles de la vigne en pleine terre. Le 26 septembre, il y eut un fort brouillard, elles prirent une teinte jaune, puis l'aspect automnal.

On était à l'époque de la chute des feuilles, le rameau en perdit plusieurs. Le 22 octobre, on mesura une jeune pousse et un bourgeon survenus depuis le commencement des observations. Cette feuille tardive avait une nervure de 55 centimètres. Quand on démonta l'appareil, deux jeunes feuilles, provenant du bourgeon, offraient une superficie de 50 centimètres carrés. Les feuilles submergées depuis deux mois étaient vertes et enduites d'une substance gluante, ainsi qu'on l'avait observé sur les feuilles immergées du platane. L'eau du flacon, devenue trouble, s'éclaircit bientôt en laissant déposer un sédiment.

En résumé, dans ces observations, les feuilles de l'appareil A en contact avec l'air ont transpiré à peu près comme elles l'eussent fait si le rameau qui les portait eût appartenu à une plante en pleine terre. Les feuilles submergées ont fonctionné comme surface absorbante à la manière des racines; elles présentaient, d'ailleurs, avec ces organes, cette analogie, que l'étendue de leur superficie différait peu de celle des feuilles exposées à l'atmosphère.

Dans deux autres expériences, en 1871, on se borna à constater la durée de la vitalité des feuilles sans mesurer leur transpiration.

I. Une pousse de laurier-cerise fut disposée de manière que les feuilles submergées eussent une surface égale à celles qui ne l'étaient pas. Les feuilles exposées à l'air se maintinrent en parfait état pendant quatre mois, de juin à octobre.

II. Un plant de topinambour, mis à ce régime, ne résista qu'alors que les feuilles plongées dans l'eau eurent une surface quatre fois aussi étendue que celles qui fonction-

naient à l'air libre. Lorsque l'insolation était forte, les feuilles placées à l'air se fanaient, mais elles se redressaient pendant la nuit. Quelques feuilles se développèrent au sommet de la tige. L'exposition dura trois mois, de juillet à septembre.

Comment les feuilles submergées introduisent-elles l'eau dans les feuilles du même rameau qui ne le sont pas? Est-ce par endosmose, est-ce par imbibition, par capillarité?

Ce qui semble évident, c'est que, pour que l'introduction se réalise, il faut qu'il n'y ait pas de solution de continuité entre l'épiderme de la surface absorbante et l'épiderme de la surface évaporatoire, ainsi qu'il arrive dans les conditions normales de la végétation où l'épiderme enveloppe la plante, depuis les feuilles jusqu'aux racines.

L'eau pénètre donc le tissu épidermique des feuilles submergées, de même qu'elle pénètre celui des racines, et, quoi qu'on ait dit, ce tissu possède à la fois la faculté absorbante et la faculté évaporatoire. Dans une feuille, le côté interne de l'épiderme en contact avec le parenchyme absorbe des liquides, et si la cuticule qui la recouvre ne les laisse pas suinter, si elle n'est pas mouillée à l'extérieur, elle offre néanmoins un libre passage à l'eau qui en émane à l'état de vapeur; en un mot, la cuticule prélève de l'eau en touchant un corps humide, et la cède à l'air ambiant quand il est à un état hygrométrique inférieur à 100 degrés du psychromètre.

§ V. — *Absorption de l'eau par la surface des feuilles.*

Dans la saison chaude, par un temps sec persistant, la végétation est en quelque sorte suspendue, les feuilles tombent comme en automne; naturellement les herbacées sont toujours plus atteintes que les arbres. Il n'est pas rare de voir, après de fortes insolations, les feuilles des bette-

raves, des topinambours, des cucurbitacées, des grandes cultures, devenir molles, fanées à la fin du jour; puis, si, après le coucher du Soleil, l'atmosphère est calme, on les retrouve vivaces le lendemain matin. C'est que, la nuit, l'humidité de l'air est un obstacle à la transpiration; l'eau arrivant du sol s'accumule dans l'organisme; ensuite, si l'air n'est pas agité, si le ciel est pur, la rosée déposée sur les feuilles les pénètre. L'eau réparatrice vient alors de la terre et de l'atmosphère. Ce qui tend à faire croire au concours de la rosée dans le redressement des feuilles fanées dans les circonstances que je viens de signaler, c'est ce qu'on voit maintes fois dans un champ de betteraves. Les feuilles flétries des plants placés sous les arbres ne se relèvent pas le matin quand la terre est bien desséchée à la surface: c'est qu'alors, étant abritées, elles ne reçoivent pas de rosée, parce qu'elles ne se refroidissent pas en rayonnant vers l'espace; dans tous les cas, la flétrissure des feuilles est due à ce que la séve ne monte pas assez vite pour remplacer l'eau transpirée. C'est, au reste, ce qu'établissent surabondamment les expériences que j'ai décrites et qui montrent que les plantes conservent leur état de langueur occasionnée par la chaleur et la sécheresse, jusqu'à ce que la pluie imbibe leurs feuilles, avant même qu'elle soit entrée assez profondément dans la terre pour atteindre leurs racines.

Cette action efficace de la pluie, de la rosée, du brouillard, en un mot cette absorption directe de l'eau par les parties vertes des végétaux ayant été niée par les uns, admise par les autres, il en est résulté une confusion que je vais essayer de faire disparaître. On a vu que Calandrini et Ch. Bonnet accordaient aux feuilles l'aptitude d'aspirer, de condenser les météores aqueux qu'ils envisageaient comme étant une nourriture essentielle aux plantes. On a beaucoup écrit sur ce sujet; je me limiterai à résumer ici les observations de M. Duchartre.

I. Des branches feuillées, dont la section avait été soigneusement mastiquée, ont été plongées pendant quelque temps dans l'eau, elles ont augmenté de poids en proportions variables suivant les espèces. M. Duchartre croit pouvoir en conclure que si les feuilles sont dépourvues de la faculté d'absorber la vapeur aqueuse répandue dans l'air, par compensation elles possèdent celle d'absorber l'eau liquide qui les mouille, telle que la pluie, le brouillard, la rosée ([1]).

II. Des recherches entreprises dans le courant de l'été et de l'automne 1856 « établissent le principe que, contrairement aux idées reçues, les plantes n'absorbent pas l'eau de la rosée qui les mouille, quelque abondante qu'elle puisse être, du moins dans nos climats et dans les conditions ordinaires de la végétation, et que le seul effet qu'elle produise est d'arrêter, par sa présence, la transpiration qui eût eu lieu sans elle ([2]). »

III. Revenant sur ce sujet, M. Duchartre dit, en 1860 : « On a pensé de tout temps, et l'on pense encore aujourd'hui, que l'eau de la pluie qui mouille les parties extérieures des plantes pendant un temps plus ou moins long est absorbée par elles et vient ainsi concourir à la nutrition. » C'est là une opinion qui n'est pas appuyée sur des expériences directes. J'ai cru qu'il y avait intérêt à reconnaître si elle est l'expression exacte des faits. Des pieds jeunes et vigoureux de *Fuchsia globosa,* de *Veronica tindleyana,* de *Flox decussata* ont offert ce fait remarquable que, après être restés exposés à la pluie même pendant dix-huit heures, ils n'ont pas subi une augmentation de poids appréciable; ils ont plutôt éprouvé une légère

---

([1]) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences,* t. XLII, p. 790.

([2]) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences,* t. XLVI, p. 204.

diminution. Il semble logique de conclure de là que leurs parties extérieures, tiges, rameaux herbacés, feuilles tant jeunes qu'adultes, se sont montrées dépourvues de la faculté d'absorber l'eau qui mouillait et lavait longuement leur surface ([1]).

Les divergences dans des résultats obtenus à l'aide de méthodes irréprochables tiennent, je crois, à une circonstance que je formulerai plus bas. La vérité est que les parties vertes des végétaux peuvent absorber ou ne pas absorber l'eau liquide, la rosée et même la vapeur aqueuse, suivant les conditions dans lesquelles elles se trouvent. Avant de les signaler, je rapporterai ici ce que j'ai observé au Liebfrauenberg.

On était au 25 juillet, depuis vingt jours il n'avait pas plu; à l'ombre le thermomètre marquait de 21 à 30 degrés, le psychromètre 36 à 40 degrés; le vent soufflait de l'est presque sans interruption. De petites pervenches, placées en bordures dans le jardin, présentaient des feuilles tellement penchées qu'elles touchaient les tiges. La terre était sèche, poudreuse jusqu'à une profondeur de 10 à 15 centimètres. Les arbres commençaient à se dépouiller, de jeunes pommiers plantés en automne périrent, les plants de betteraves, de topinambours étaient flétris; seuls, la vigne, le tabac ne paraissaient pas souffrir; plusieurs fois, au reste, j'avais eu l'occasion de reconnaître combien ces plantes résistent à la sécheresse.

I. J'ai voulu voir si les pervenches, après une sécheresse aussi intense, absorberaient la vapeur aqueuse.

A 8 heures du matin on en détacha un rameau pesant 4 grammes, sur lequel il se trouvait vingt feuilles ayant une surface de $331^{cq},2$, soit pour les deux côtés du limbe $662^{cq},4$. Le rameau fut introduit sous une cloche dont les

---

([1]) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. L, p. 359.

parois mouillées reposaient sur de l'eau exempte d'acide carbonique.

	gr
A 8 heures du matin, poids du rameau..........	4,00
Après vingt-cinq heures passées dans une atmosphère saturée de vapeur d'eau..............	4,15
Augmentation de poids......................	0,15

Je ferai remarquer que le rameau de pervenche était resté :

A la lumière diffuse pendant seize heures.

A l'obscurité (la nuit) pendant neuf heures.

Cette circonstance est à noter, parce que l'air, ne renfermant pas de gaz acide carbonique, les feuilles n'avaient pu fixer du carbone durant la journée, tandis que la nuit elles en avaient perdu par la combustion respiratoire, de sorte que l'accroissement de poids a dû être un peu supérieur à celui indiqué par la balance.

Pendant leur séjour dans l'atmosphère saturée de vapeur, les feuilles auraient absorbé $\frac{0,15}{6,624} = 0^{gr},023$ d'eau par décimètre carré de surface.

Immédiatement après la pesée, le rameau fut replacé sous la cloche où il est resté douze heures à la lumière diffuse.

	gr
Au commencement il pesait..................	4,15
A la fin..................................	4,20
Augmentation en douze heures...............	0,05

L'absorption de la vapeur aqueuse fut moins prononcée.

Il est donc évident que les pervenches, dans l'état où elles étaient après avoir éprouvé une longue sécheresse, ont enlevé de l'eau à l'atmosphère dans laquelle elles étaient confinées. L'absorption de la vapeur eut lieu avec une grande lenteur; on ne pouvait prolonger l'expérience: le plant aurait pu en souffrir.

II. En sortant de l'air humide, le même rameau de pervenche a été plongé pendant douze heures dans de l'eau ne contenant pas d'acide carbonique; après immersion, égoutté et essuyé avec un papier buvard :

Le rameau a pesé	9,38 gr
Avant l'immersion, il pesait	4,20
Eau absorbée	5,18

Toutes les feuilles étaient redressées, fermes, d'une belle teinte verte. Elles avaient fixé 0gr,778 d'eau par surface d'un décimètre carré. Durant l'immersion, la température s'était maintenue à 21 degrés.

III. Le même rameau a été suspendu à l'air :

Il pesait	9,38 gr	Différence.... 0gr,18
Une heure après	9,20	
Deux heures après	8,85	Différence .. 0gr,35

Le thermomètre marquait 20, le psychromètre 85 degrés. La perte de poids provenait de la transpiration des feuilles.

Durant la première heure, cette perte a été de 0gr,027; dans les deux heures qui ont suivi par décimètre carré et par heure 0,026.

Le 27 juillet, avec un vent d'ouest, il survint une pluie qui tomba presque sans interruption pendant quarante-huit heures.

Le 29, les pervenches du jardin étaient relevées; cependant la pluie n'avait pas encore pénétré le sol à plus de 2 ou 3 centimètres de profondeur, au-dessous la terre était encore sèche. Les feuilles des plants disposés en bordure avaient donc absorbé l'eau pluviale, de même qu'alors qu'elles étaient submergées.

IV. Le 30 juillet, après la pluie, un rameau très-vivace de petite pervenche resta plongé dans l'eau pendant douze

heures, ainsi qu'on avait fait précédemment pour un rameau portant des feuilles flétries :

Avant l'immersion, le rameau pesait...........	5gr,00
Après..................................	5,03

il n'y avait eu qu'une absorption d'eau insignifiante.

V. Dans le mois d'août, après une nouvelle période de forte sécheresse, les feuilles d'un asclépiade penchaient sur la tige ; à 6 heures du soir on en cueillit une, elle pesait 5gr,82, sa surface double (des deux côtés du limbe) était 262 centimètres carrés ; on la mit dans l'eau, où elle resta plongée jusqu'à 8 heures du matin.

Poids de la feuille avant l'immersion...........	5gr,82
Après..................................	8,20
Eau absorbée en quatorze heures...............	2,38
Par décimètre carré de surface.................	0,07

Après l'immersion, la feuille est devenue rigide et d'une belle teinte.

VI. A la fin d'août, après une pluie continuelle, les feuilles de l'asclépiade du jardin reprirent leur aspect normal, tout était reverdi, suivant l'expression des jardiniers.

On détacha d'un pied d'asclépiade deux feuilles pesant ensemble 9gr,00, ayant une surface double de 287 centimètres carrés ; les feuilles, après immersion, ne changèrent pas de poids, elles n'absorbèrent pas d'eau.

VII. A la même époque, la terre étant humide, on cueillit à 9 heures du matin :

1° Deux feuilles de platane pesant ensemble..	12gr,8	Surface double	844cq
2° Deux feuilles de vigne.	8,2	»	400
3° Deux feuilles de Boussingaultia...........	7,8	»	132

Les feuilles de platane et de vigne furent cueillies au soleil, les feuilles de Boussingaultia à l'ombre. Toutes, après la cueillette, restèrent dans l'eau durant sept heures :

	Platane.	Vigne.	Boussingaultia.
Poids avant l'immersion.....	12,8 gr	8,2 gr	7,8 gr
Après..................	13,1	8,3	7,8
Différence..............	0,3	0,1	0,0

Si l'on considère l'étendue des surfaces des feuilles, l'absorption a été très-faible.

Par décimètre carré : platane................ 0,035 gr
» vigne................ 0,025

Ces feuilles, lorsqu'on les arracha de la plante, à 9 heures du matin, étaient déjà en transpiration, transpiration qui devait être plus prononcée que pour les feuilles de Boussingaultia que les rayons du Soleil n'avaient pas frappées.

VIII. Au commencement de septembre, il n'avait pas plu depuis deux jours ; la terre était bien imbibée. On cueillit le matin à 8 heures :

		Surface double.
1° Deux feuilles de vigne pesant ensemble.	8,50 gr	772 cq
2° Deux feuilles de Boussingaultia........	5,30	212
3° Une feuille de laurier-cerise.........	3,27	111

Les feuilles ont été submergées pendant quatre heures :

	Vigne.	Boussingaultia	Laurier-cerise.
Poids avant l'immersion.	8,50 gr	5,20 gr	3,27 gr
Après..............	8,90	5,30	3,29
Différence............	0,40	0,10	0,02
Eau absorbée par décimètre carré.........	0,052	0,047	0,01

Sur les mêmes plants, recevant le soleil depuis le matin, on cueillit à 6 heures du soir :

		Surface double.
	gr	cq
1° Sur la vigne deux feuilles pesant ensemble.	13,9	700
2° Sur la Boussingaultia..................	5,9	200

Les feuilles furent placées sous l'eau pendant quatre heures :

	Vigne.	Boussingaultia.
	gr	gr
Poids avant l'immersion........	13,9	5,0
Après......................	14,5	5,5
	0,6	0,5
Eau absorbée par décimètre carré.	0,086	0,25

Ainsi les feuilles cueillies le matin ont absorbé moins d'eau que celles qui l'ont été à la fin de la journée. Ce fait suffit pour montrer nettement les conditions dans lesquelles les parties vertes absorbent ou n'absorbent pas d'eau. La feuille d'une plante végétant dans un sol humide renferme, au lever du soleil, un maximum d'eau de constitution ; aussitôt qu'elle commence à transpirer, si, comme il arrive ordinairement, l'eau qu'elle émet n'est pas compensée par celle qu'amène la séve ascendante, il y a commencement de dessiccation et par suite aptitude à l'absorption.

Par une sécheresse persistante les feuilles finissent par ne plus remplir qu'imparfaitement leurs fonctions aériennes ; arrivées à un certain degré de siccité, elles peuvent même condenser la vapeur aqueuse de l'air ; il en est tout autrement quand la feuille est pourvue de son eau constitutionnelle : son poids n'augmente plus ni par la submersion, ni dans une atmosphère saturée d'humidité.

On doit donc reconnaître, avec les cultivateurs et les jardiniers, qu'après de longues sécheresses la pluie, la

rosée, en pénétrant directement les feuilles, contribuent à ranimer la vitalité du végétal.

Exposées à une pluie persistante, les feuilles se comportent autrement que les fruits; lorsqu'elles ont toute l'eau de constitution, elles cessent d'en absorber. Aussi leur épiderme n'est-il pas déchiré par suite d'un accroissement de volume, comme il arrive pour les prunes, les cerises, les raisins, etc., et, à moins qu'elles ne soient à cet état morbide qui détermine l'apparition de la miellée, leur surface ne présente aucune substance concrète; cependant elles contiennent dans leurs cellules des matières solubles, du saccharose, des sucres réducteurs, des sels alcalins, d'où il faut bien conclure que la cuticule n'enlève que de l'eau pure au parenchyme qu'elle enveloppe pour l'émettre en vapeur pendant la transpiration. Cette émission, on l'a démontré, diminue avec la perte de l'eau constitutionnelle; parvenue à un état avancé de dessiccation, la feuille se détache de la branche et, par la submersion, ne reprend plus, à beaucoup près, l'eau qu'elle a perdue. C'est une feuille morte.

Les expériences sur la transpiration et l'absorption de l'eau par les feuilles, en tenant compte des circonstances météorologiques, de la température, de l'état hygrométrique, de l'agitation de l'air, tendent donc à établir que, dans les conditions normales, l'ascension de la sève est en retard sur l'évaporation accomplie à la surface des feuilles. En effet, elles montrent qu'une plante ne transpire, on pourrait dire ne fonctionne, que dans une atmosphère non saturée. Aussi toujours, par un temps humide, souvent pendant la nuit, les organes aériens n'émettant plus de vapeurs, l'assimilation cesse ou diminue. L'eau aspirée par le fait de la transpiration est le véhicule des principes fertilisants répartis dans le sol, tels que les composés azotés, les sels alcalins et terreux. Une feuille ne fonctionne donc complétement qu'autant qu'il y a évaporation à sa surface;

et qu'on ne croie pas cependant qu'alors qu'elle est confinée momentanément dans une atmosphère saturée, il n'y a pas exhalation de vapeur. La preuve qu'il n'en est pas ainsi, c'est que, dans cette situation anormale, on voit apparaître des gouttelettes sur les parois de la cloche qui l'abrite, c'est qu'alors la température de la feuille séquestrée est notablement supérieure à celle de l'air ambiant; il est aisé de s'en assurer, et c'est pour avoir méconnu cette différence de température que des observateurs ont attribué à la lumière le pouvoir de provoquer, comme la chaleur, la transpiration des organes verts des végétaux.

C'est pendant une sécheresse prolongée, par des vents persistants amenant la dessiccation du sol, que le retard de l'ascension de la sève ascendante sur la transpiration est plus prononcée, à ce point que les plantes succomberaient rigoureusement si la pluie, la rosée, le brouillard n'intervenaient pas; si, en un mot, l'eau liquide ne possédait pas la propriété de pénétrer dans l'intérieur des feuilles en leur restituant l'eau de constitution qu'elles avaient laissé échapper, remplaçant ainsi celle que les racines ne sauraient fournir en quantité suffisante tant que la terre est sèche.

Dans les contrées arides, où la pluie est si rare qu'elle devient un événement, les fortes rosées, les brouillards fréquents sont les sources principales, sinon uniques, qui entretiennent la végétation. Dans des régions chaudes intertropicales, éloignées des fleuves, mon père a vu, par un temps calme et une nuit sereine, la rosée déposée en telle abondance sur les plantes refroidies par le rayonnement nocturne qu'elle ruisselait sur le sol en l'abreuvant profondément. C'est ainsi que des météores apportent aux feuilles d'abord, à la terre ensuite, et, par conséquent, aux racines, l'eau nécessaire à la végétation.

§ VI. — *Absorption, par les feuilles, des sels en dissolution.*

Dans ce qui précède, il a été établi que, dans certaines conditions, les feuilles absorbent l'eau où elles sont submergées. J'ai dû rechercher si les substances salines pénétreraient dans leur parenchyme en même temps que les dissolutions dont elles font partie. La question est intéressante, car dans le cas d'une pénétration le rôle des feuilles ne serait plus borné à l'introduction de l'eau dans l'organisme.

Les expériences pour constater cette absorption des sels ne sont pas exemptes de difficultés. En raisonnant d'après ce qui se passe avec les organes souterrains, on ne devait mettre en contact avec les feuilles que des dissolutions extrêmement diluées. Ainsi, selon de Saussure, tel sel favorisant la végétation par sa nature devient nuisible par sa quantité. En général, une dissolution présentée à une racine ne doit pas dépasser une teneur de 0,002 à 0,003 de matière saline; au delà de ces limites, l'éminent physiologiste a vu que « les sels dissous sont absorbés par les spongioles en moins grande raison que l'eau dans laquelle ils sont dissous ».

Dans les observations portant sur des racines, la solution que l'on fait intervenir peut être maintenue à un degré constant de concentration. Il n'en est plus ainsi en agissant sur des feuilles dans les conditions où elles fonctionnent, par la raison que la dissolution, restant exposée à l'air, tend à se concentrer en un liquide qui cesse d'être absorbable. On a obvié à cet inconvénient en faisant usage d'un sel fort peu soluble et n'exerçant, même à l'état concret, aucune action nuisible sur les plantes, le sulfate de chaux. L'eau n'en dissout environ que 0,002 à la température de 15 à 20 degrés. Il arrive alors qu'en plaçant à l'air la dissolution, l'eau, en se desséchant, laisse bien déposer

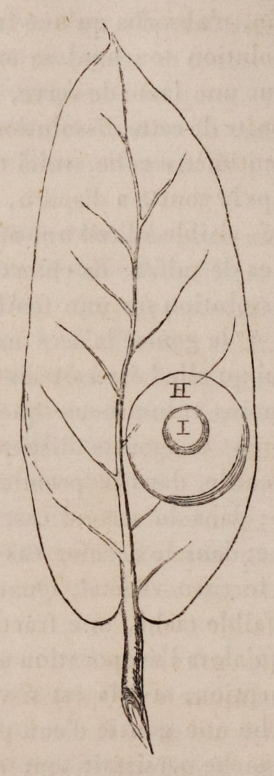
des cristaux, mais le liquide qui les recouvre ne contient toujours que 0,002 de sulfate.

Cette propriété du sulfate de chaux fournit un indice précieux pour reconnaître si une feuille absorbe ou n'absorbe pas, ou, enfin, n'absorbe qu'une fraction du sel entrant dans la dissolution touchant sa surface. Ainsi, en exposant à l'air, sur une lame de verre, ou dans un verre de montre, une goutte de cette dissolution saline, ayant un volume de $\frac{2}{10}$ de centimètre cube, voici ce qu'on observe : après quelque temps la goutte a disparu, et l'on trouve à sa place une tache très-visible à l'œil nu, offrant sous la loupe une zone d'aiguilles de sulfate de chaux. Maintenant, en posant la même dissolution sur une feuille, trois cas peuvent se présenter : 1° la goutte laisera un résidu ayant un volume égal à celui qu'elle laisserait sur la lame de verre ; 2° le résidu sera moins volumineux quelquefois, même à peine perceptible; 3° la goutte disparaîtra sans laisser aucune trace. La feuille, dans le premier cas, n'aura pas absorbé de sulfate; dans le second cas, il y en aura une partie d'absorbée, et dans le dernier cas la totalité du sel aura pénétré dans le tissu végétal. Quand la goutte laisse sur la feuille une faible tache, une fraction du sel qu'elle renfermait, c'est qu'alors l'évaporation a eu lieu plus rapidement que l'absorption, et cela est si vrai qu'il suffit de poser sur cette tache une goutte d'eau pure pour la faire disparaître. Si la tache persistait tout en ayant diminué de volume, il suffirait d'une nouvelle addition d'eau pour l'éliminer. Il n'y aurait que sur une surface de feuille imperméable que ce résidu de sulfate de chaux résisterait.

Pour obvier à une trop prompte évaporation, on a, dans plusieurs expériences, recouvert les gouttes de dissolution avec un petit verre de montre dont on graissait légèrement les bords pour déterminer l'adhérence, de manière à intercepter la communication avec l'air ambiant; on suivait ainsi, sous ce verre, la disparition graduelle du liquide.

Cette disposition, indiquée dans la *fig.* 6, convenait surtout lorsque la feuille n'était pas douée d'un pouvoir absorbant énergique.

Fig. 6.



H, verre de montre. — I, goutte de dissolution.

Je rapporterai maintenant quelques observations, me réservant d'en présenter un plus grand nombre lorsque j'aurai terminé les recherches que j'ai commencées sur l'absorption des sels par les organes verts des végétaux.

I. Le 1er juillet, dans l'après-midi, on a pris dans un champ de luzerne quatre feuilles exposées au soleil depuis le matin, une partie de leur eau de constitution ayant été

dis sipée : leur faculté absorbante devait être alors plus active.

A 5 heures du soir, on déposa deux gouttes de solution de sulfate de chaux sur l'endroit, et deux autres gouttes sur l'envers de deux feuilles :

Température	19°
Psychromètre	62 (1).

Le lendemain, 2 juillet, au matin, les gouttes avaient disparu sans laisser de résidu; ainsi, par l'endroit comme par l'envers, le sulfate de chaux était entré dans les feuilles.

II. Le 2 juillet, à 4 heures du soir, on cueillit deux feuilles de vigne; sur l'endroit de l'une et sur l'envers de l'autre, on posa trois gouttes de dissolution :

Température	20°
Psychromètre	60

Le 3 juillet, à 8 heures du matin, toutes les gouttes avaient disparu sans laisser de taches. On plaça deux autres gouttes de solution sur l'endroit et sur l'envers des mêmes feuilles. A 3 heures de l'après-midi, c'est-à-dire sept heures après, la surface des feuilles était très-nette.

A la même date, on posa des gouttes de solution sur l'endroit et l'envers de feuilles de haricot, de trèfle, de châtaignier, de choux-raves cueillis l'après-midi, au soleil. Les feuilles furent portées à l'ombre dans une grande salle où la température varia de 19 à 22 degrés, le psychromètre de 59 à 63 degrés.

Vingt-quatre heures après, toutes les gouttes posées sur les deux faces des feuilles de trèfle et de châtaignier avaient disparu sans laisser aucune trace. Les gouttes persis-

---

(1) Thermomètre sec, 19 degrés; thermomètre mouillé, 15 degrés; tension, 13°,89; humidité relative, 62 degrés.

taient sur les autres feuilles. Ce n'est qu'après une exposition de trente-six heures qu'elles disparurent sur l'endroit et l'envers des haricots et sur l'envers des choux-raves : sur l'endroit du choux, on voyait à la loupe une zone de petites aiguilles de sulfate, que l'addition d'une goutte d'eau élimina.

III. Le 5 juillet, sur des feuilles de mûrier blanc, cueillies le matin, on déposa deux gouttes de solution sur l'endroit et sur l'envers. Une des gouttes fut recouverte d'un verre de montre.

A 9 heures, les feuilles ont été placées à l'ombre ; la température se maintint entre 18 et 19 degrés, le psychromètre entre 75 et 77 degrés ; à midi, sur l'endroit, la goutte non recouverte avait disparu, le sulfate de chaux était entré dans les feuilles.

Le 6 juillet, au matin, la goutte posée sur l'endroit et recouverte était encore visible : elle persista jusque vers 2 heures.

IV. Le 10 juillet, on mit en observation, à 8 heures du matin, des feuilles de laurier-cerise, de laurier-rose, d'asclépiade.

L'endroit et l'envers reçurent deux gouttes de solution : l'une des gouttes abritée, le thermomètre se tint entre 20 et 22 degrés. Le psychromètre marqua de 74 à 85 degrés.

A 5 heures du soir :

Laurier-cerise. — Sur l'endroit, la goutte libre avait laissé une trace de sulfate.

Sur l'envers il n'y eut pas de résidu.

Laurier-rose. — Sur l'envers comme sur l'endroit, les gouttes disparurent sans laisser de sulfate.

Asclépiade. — La goutte libre a laissé un résidu. La goutte abritée sous le verre de montre est restée entière.

Les gouttes abritées ont persisté jusqu'au 11 juillet. En

fait, sur l'asclépiade, l'absorption du sulfate a été très-lente, incomplète.

V. Le 11 juillet, sur deux feuilles de topinambour, et sur deux feuilles de betteraves, cueillies à 7 heures du matin, on posa sur l'endroit et sur l'envers trois gouttes de solution : l'une d'elles était abritée. On a exposé à l'ombre :

Température.	24°
Psychromètre.	67

A 10 heures :

Topinambour. — Sur l'envers, toutes les gouttes étaient dissipées sans avoir laissé de sulfate.

Sur l'endroit, les gouttes restèrent trois ou quatre heures de plus.

Betteraves. — A 10 heures, sur l'endroit et sur l'envers, les gouttes persistaient : leur disparition n'eut lieu qu'après vingt-quatre heures. L'absorption avait été fort lente, mais complète. Il n'est resté sur l'endroit qu'un indice de sel.

Le 12 juillet, sur des feuilles de marronnier d'Inde prises à 9 heures du matin, on posa trois gouttes de solution. A midi toutes avaient disparu en laissant une tache sur laquelle on mit une goutte d'eau pure. Le soir l'eau ajoutée et les taches n'étaient plus visibles.

Des expériences semblables, et qu'il serait inutile de rapporter en détail, ont été faites sur des feuilles détachées de concombre, de platane, de grande pervenche, de lierre, de l'iris, de pêcher et, constamment, la dissolution de sulfate de chaux a été absorbée en tout ou en partie par l'endroit et par l'envers. Lorsque, après, il restait une zone de sulfate, il suffisait de faire intervenir un peu d'eau pure pour déterminer l'absorption totale du sel.

Il parut singulier que la dissolution déposée sur une feuille sans être recouverte se dissipât souvent sans pro-

duire un résidu, ce qui impliquait une absorption plus rapide que l'évaporation du dissolvant. Cela tient à ce que la feuille se dessèche d'autant plus vite, durant l'exposition, qu'elle est à une température un peu supérieure à celle de l'air; qu'on n'oublie pas d'ailleurs que sa surface est fréquemment de plus de 1 décimètre carré, par conséquent beaucoup plus étendue que celle du liquide avec lequel elle est en relation. S'il arrive qu'elle transpire peu, l'eau de dissolution, n'étant plus absorbée qu'avec lenteur, s'évaporera en abandonnant la plus grande partie du sel qu'elle contenait : c'est alors qu'on aura un résidu, une tache de sulfate.

Dans une autre série d'expériences, on déposait sur les feuilles des gouttes de dissolution renfermant 0,003 de sulfate de potasse, de nitrate de potasse, de chlorure de sodium, de nitrate d'ammoniaque. On a pu reconnaître facilement l'absorption du sulfate et du nitrate de potasse, dans les conditions où le sulfate de chaux était absorbé. Il n'en a plus été ainsi pour le chlorure de sodium, pour le nitrate d'ammoniaque. Il se formait, par suite de l'évaporation, une solution concentrée que les feuilles ne prenaient plus, surtout quand on observait à l'air libre : aussi les résultats obtenus avec ces agents manquaient-ils de netteté. Pour que les solutions très-diluées de sulfate et de nitrate de potasse fussent directement absorbées en totalité, il fallait des conditions météorologiques exceptionnellement favorables; presque toujours elles laissaient une tache de sel qu'on ne faisait disparaître que par des additions d'eau réitérées.

Jusqu'ici on avait observé sur des feuilles détachées; on a répété les expériences en agissant sur des feuilles attenant à la plante

I. Le 11 juillet le ciel était sans nuages, l'air calme, à 3 heures le thermomètre marquait 26 degrés, le psychromètre 51.

A 7 heures du soir on mit des gouttes d'une dissolution de sulfate de chaux sur des feuilles de rose trémière, de vigne, de géranium, d'asclépiade, de laurier-cerise. Les gouttes furent déposées sur l'endroit; on comprend, en effet, qu'il était impossible de les faire tenir sur l'envers des feuilles.

Le lendemain à 7 heures du matin, sur les feuilles de la rose trémière, il restait un cercle de cristaux de sulfate, l'absorption du sel n'ayant été que partielle.

Sur les feuilles de concombres, de haricots, de laurier-cerise, l'absorption avait été entière. Sur quatre feuilles de vigne touchées avec la dissolution, trois avaient absorbé la totalité du sulfate dissous; la quatrième retenait quelques cristaux. Sur l'asclépiade, trois feuilles sur quatre avaient absorbé le sulfate. Sur toutes les feuilles de géranium, il resta une zone de cristaux : l'absorption n'avait été complète sur aucune. Il fallut ajouter de l'eau à plusieurs reprises pour faire disparaître le résidu salin.

II. Le 22 juillet, à 7 heures du matin, dans un champ de topinambours, on marqua sur un plant vigoureux trente-six feuilles; sur chacune d'elles on déposa une goutte de solution de sulfate de chaux.

A 10 heures, trente-trois gouttes avaient disparu sans laisser la moindre trace : sur trois feuilles on apercevait une zone de sulfate.

La température était de 23 degrés, le psychromètre marquait 69.

On mit une goutte d'eau pure sur les taches de sulfate restées sur les trois feuilles : en moins d'une heure ces taches n'étaient plus visibles.

Si l'absorption du sulfate de chaux a été aussi prompte, c'est que les feuilles, sous l'influence de l'insolation, transpiraient énergiquement; déjà, par l'effet de la dessiccation, elles devenaient pendantes. C'est à cette propriété du sul-

fate de chaux de ne jamais présenter à la feuille qu'une solution à 0,002, à 0,003 de sel, que les résultats doivent d'avoir été aussi précis.

On essaya de faire absorber du sulfate et du nitrate de potasse par des feuilles attenant aux plantes. L'absorption fut plus lente que l'évaporation du dissolvant; aussi il en résultait des taches qu'on ne faisait disparaître que par une addition d'eau.

La pénétration du sulfate de chaux en dissolution conduit à modifier les opinions émises sur le mode le plus avantageux de plâtrer un champ. Bien qu'on obtienne de bons effets du plâtre en l'incorporant au sol pendant les labours, il faut que l'usage d'en saupoudrer les feuilles soit justifié, puisqu'il a prévalu. Il est vrai qu'on en entrevoit la raison dans cette règle que tout engrais pulvérulent doit être distribué aussi également que possible. Or rien ne peut contribuer autant à une bonne répartition du gypse que de le répandre au printemps sur des plantes ayant acquis un certain développement. On opère par un temps calme, le matin, de façon à faire adhérer aux feuilles encore couvertes de rosée le plâtre qui ne s'en détache ensuite qu'à mesure que le vent les agite : il est ainsi projeté dans tous les sens ([1]).

Maintenant, en se fondant sur les expériences qu'on vient de faire connaître, il est peut-être permis d'admettre que le plâtre n'est pas simplement retenu mécaniquement par la rosée; qu'une partie se dissout et entre directement dans les feuilles, de même qu'il y pénètre en passant par les racines quand il a été introduit dans le sol : il y a cette seule différence que par le saupoudrage il parvient plus promptement dans l'organisme.

On a pu remarquer que l'envers des feuilles absorbe le

([1]) *Économie rurale*, t. II, p. 29, 2e édition.

plus vite les dissolutions salines : c'est aussi ce qui a lieu pour l'eau pure.

Voici, comme exemple, un résultat enregistré le 31 août sur une branche de mûrier blanc : on cueillit deux feuilles semblables. Sur l'envers de l'une et sur l'endroit de l'autre on déposa à midi une goutte d'eau d'un volume de $\frac{1}{10}$ de centimètre cube qu'on couvrit d'un verre de montre.

Le 1[er] septembre, à 7 heures du matin, l'eau placée sur l'endroit conservait son volume initial, tandis que l'eau mise sur l'envers avait été absorbée. La différence entre les facultés absorbantes de chaque côté du limbe est d'autant plus marquée que la structure, l'aspect de l'envers et de l'endroit sont plus distincts ; elle est presque nulle chez les feuilles de graminées, dont les deux côtés ont une constitution physique à peu près uniforme.

Ainsi le côté de la feuille qui absorbe le plus facilement l'eau serait le côté par où la transpiration est la plus active. Comme les feuilles, les pétales ont absorbé le sulfate de chaux en dissolution. Les fleurs sur lesquelles on a agi sont le lys, le pétunia, la capucine, le zinia, le glaïeul, l'œillet de Chine, l'escholtia, la pensée, la rose, l'altaea, la gueule-de-loup.

En absorbant l'eau liquide dans les conditions qu'on a indiquées, à savoir quand elles perdent par la transpiration une partie de leur eau de constitution amenée par la séve, les feuilles peuvent introduire dans l'organisme d'une plante, ainsi que le font les racines, des principes fertilisants : des sels ammoniacaux, des composés nitrés même, des sels alcalins et terreux tenus en suspension dans l'air et que la rosée arrête, retient, dissout. L'absorption de l'eau liquide par les feuilles, bien qu'amoindrie dans une atmosphère humide, ne cesse pas absolument, alors même que l'humidité atteint son maximum, par cette raison déjà mentionnée que les feuilles, à la lumière, ont une température supérieure à celle de l'atmosphère ambiante. C'est ainsi

que dans les terrains marécageux, sur les tourbières, les plantes rampant à la surface transpirent néanmoins pendant la journée, faiblement sans doute, mais assez pour donner accès à l'eau des météores et, avec cette eau, à des principes fertilisants, puisque les feuilles sont aptes à les prendre dans l'atmosphère comme les racines les prennent dans la terre.

RAPPORT

FAIT AU NOM DU CONSEIL D'HYGIÈNE ET DE SALUBRITÉ DU DÉPARTEMENT DE LA SEINE, A M. LE PRÉFET DE POLICE,

SUR LA CRÉMATION.

(Commissaires : MM. Baude, Bouchardat, Boussingault et Troost, rapporteur.)

M. le Préfet, le 17 décembre 1875, vous avez renvoyé divers documents au Conseil de salubrité concernant la crémation. La lettre du Préfet de la Seine qui les accompagnait ne spécifiant aucune demande particulière, la Commission a cru devoir examiner successivement les points suivants :

1° La possibilité d'opérer l'incinération des corps sans production d'odeur, de fumée, ni de gaz délétères ;

2° Les avantages que l'incinération pourrait offrir au point de vue de la salubrité ;

3° Les inconvénients qu'elle présenterait au point de vue des investigations de la justice pour la recherche des crimes.

La Commission n'avait pas à s'occuper de la convenance de respecter la célébration des cérémonies religieuses ; cette convenance a été reconnue par le Conseil municipal et par la Commission administrative qui a déterminé le programme de concours pour la recherche du meilleur procédé d'incinération des corps, ou tout autre système donnant un résultat analogue.

Il est d'ailleurs bien entendu que l'incinération ne serait nullement obligatoire, mais qu'elle serait simplement

facultative dans des conditions à déterminer par une loi spéciale.

1. Sur la première question examinée par votre Commission, le Rapport peut être très-bref: il n'est pas douteux qu'en ayant recours à des foyers à gaz, analogues à ceux que l'on emploie dans la métallurgie, on aurait une incinération rapide. Il serait possible d'obtenir, sans aucun mélange de matières étrangères, les cendres du corps soumis à la crémation. Il ne se répandrait d'ailleurs aucune odeur fétide, aucune fumée, car ces foyers sont essentiellement fumivores. On n'aurait par suite aucun inconvénient à redouter pour la salubrité publique.

Les conditions du programme présenté au Conseil municipal pourront donc être facilement remplies, sauf peut-être la condition d'économie; car, avec ces foyers, la crémation ne deviendrait économique qu'à l'époque probablement encore éloignée où un four pourrait fonctionner d'une manière continue.

2. La crémation présenterait des avantages sur le mode d'inhumation dans la fosse commune, où un espace insuffisant est réservé à chaque corps. Il peut, en effet, en résulter des émanations fétides et l'altération des eaux souterraines lorsque la terre se trouve saturée de matières organiques en décomposition et que l'air ne peut arriver en quantité suffisante pour déterminer une combustion complète. Mais les plus graves inconvénients des cimetières actuels disparaîtraient le jour où la fosse commune, établie dans des terrains convenablement perméables, ne contiendrait que le nombre limité de corps suffisamment espacés et pourrait être rendue à l'agriculture après avoir été fermée pendant un certain nombre d'années : car les corps inhumés dans un sol perméable sont, en définitive, livrés à une sorte de combustion lente et indirecte qui ne présente aucun inconvénient, tant que les produits intermédiaires et dangereux n'arrivent pas à la surface du sol.

3. L'inhumation présente pour la société des garanties que l'on ne trouve pas dans la crémation, si l'on considère la question au point de vue de la recherche et de la constatation des poisons, dont l'existence n'est souvent soupçonnée que longtemps après le décès.

En effet, les poisons peuvent, au point de vue qui nous occupe, être divisés en deux classes :

1° Les poisons que la crémation ferait disparaître ;

2° Les poisons qu'elle ne détruirait pas complétement.

Dans la première classe, se rangent toutes les substances toxiques d'origine organique et de plus l'arsenic, le phosphore et le sublimé corrosif, c'est-à-dire les poisons qui sont le plus fréquemment employés. Dans tous les cas d'empoisonnement par l'une de ces substances, la crémation ferait disparaître toute trace du crime, elle en assurerait l'impunité et, par suite, en encouragerait le renouvellement.

Dans la seconde classe des poisons se rangent les sels de cuivre et ceux de plomb. Le métal pourrait être retrouvé dans les cendres, mais il est bien évident que les intéressés auraient toujours la ressource de disperser ces cendres ou de les remplacer par d'autres ; de sorte que, dans le second cas, les traces d'un crime seraient généralement aussi faciles à faire disparaître que dans le premier.

Par suite, les criminels pourraient trouver dans la crémation une sécurité qu'ils ne rencontrent pas dans les procédés actuels d'inhumation, et qu'il importe de ne pas leur assurer, car elle serait pour les populations une source de dangers plus graves que l'insalubrité reprochée aux cimetières.

Les objections que l'on peut faire à la crémation seraient levées si la loi exigeait qu'avant toute crémation il fût procédé à l'autopsie du cadavre et à l'expertise chimique de ses organes essentiels, pour y constater la présence ou l'absence de tout poison.

Mais ces expertises, qui n'ont de valeur qu'alors qu'elles sont conduites comme une expérience vraiment scientifique, sont toujours délicates, même lorsque le champ des recherches a été limité par une instruction judiciaire; elles deviendraient extrêmement longues et pénibles en l'absence de toute indication préliminaire. Aussi, en admettant qu'elles puissent être pratiquées avec la prudence et le talent qu'elles exigent de la part de l'opérateur, tant qu'il n'y aura qu'un petit nombre de crémations, il est bien difficile d'affirmer qu'elles seraient encore sérieusement réalisables le jour où les demandes d'incinération se multiplieraient.

En résumé, Monsieur le Préfet, la Commission a constaté la possibilité d'obtenir l'incinération des corps sans dégagement de gaz insalubres; elle a reconnu l'avantage de cette incinération sur l'inhumation dans la fosse commune, au point de vue de l'hygiène, mais elle a trouvé dans la crémation de très-sérieux inconvénients au point de vue de la médecine légale, et par suite au point de vue de la sécurité publique.

La Commission a d'ailleurs complétement réservé toutes les questions de sentiment et de morale.

FIN DU TOME SIXIÈME.

TABLE DES MATIÈRES.



Paris — Imprimerie de GAUTHIER-VILLARS, quai des Augustins, 55.

Paris. — Imprimerie de GAUTHIER-VILLARS, quai des Grands-Augustins, 55.